



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Jorge de Souza Duarte Neto

**ANÁLISE DO PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE
UTILIZANDO A SIMULAÇÃO: ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA METALÚRGICA DE PETROLINA - PE**

Juazeiro – BA
2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Jorge de Souza Duarte Neto

**ANÁLISE DO PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE
UTILIZANDO A SIMULAÇÃO: ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA METALÚRGICA DE PETROLINA - PE**

Trabalho apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Tecnológico, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Rodrigues de Lima Júnior

Juazeiro – Ba
2010

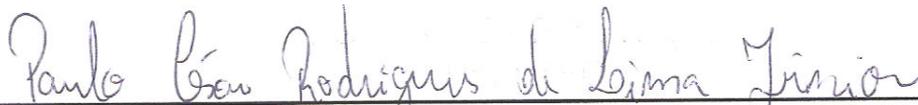
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO
Para TFC

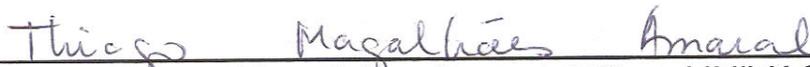
Jorge de Souza Duarte Neto

**ANÁLISE DO PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE
UTILIZANDO A SIMULAÇÃO: ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA METALÚRGICA DE PETROLINA - PE**

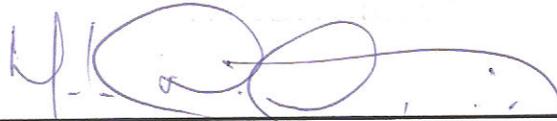
Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira de Produção, pela Universidade
Federal do Vale do São Francisco.



Paulo Cesar Rodrigues de Lima Junior, Dr – UNIVASF



Thiago Magalhães Amaral, MSc – UNIVASF



Hesler Piedade Caffé Filho, Esp – FASJ

Aprovado pelo Colegiado de Engenharia de Produção em 06 / 12 / 2010

Dedico este trabalho ao meu Pai e a
minha Mãe, meus exemplos de
vida.

Agradecimentos

Durante este período de 5 anos de estudos e empenho, muitas pessoas contribuíram para que eu mantivesse minha determinação e seguisse adiante, fazendo dos percalços e dificuldades que a vida nos impõe uma lição de aprendizado e superação. A elas, amigos, familiares e todos que de alguma forma contribuíram para eu vencer este desafio, agradeço profundamente por fazer parte da minha vida e por poder dividir comigo a alegria desta vitória.

À Deus, o agradecimento por conceder o meu bem maior: a vida. Agradeço ainda por iluminar o meu caminho e me dar força de vontade para alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Luiz Antônio e Jussara, pelos conselhos, compreensão, confiança e amor incondicional.

Aos meus irmãos, Sarah Rachel, Jorge Vinícius e Luiz Filho, pelo apoio.

À UNIVASF e aos professores do curso de Engenharia de Produção por me fornecer o conhecimento, o meu mais valioso pertence. Em especial ao meu professor, orientador e amigo Paulo César, por me transmitir o aprendizado que me fez despertar o interesse por esta linha de pesquisa, tornando-me apto à desenvolver este trabalho.

Por fim, a minha noiva e futura esposa, Manuela, pela paciência, compreensão e por estar sempre ao meu lado.

Resumo

Este trabalho procura analisar o processo produtivo de uma indústria metalúrgica na cidade de Petrolina – PE utilizando, para isto, a simulação computacional. A simulação é uma técnica a disposição dos profissionais que atuam em diversas áreas, desde a biologia às áreas das ciências exatas como engenharia. Baseia-se na construção de modelos para representar os sistemas a serem avaliados. Simular requer mais do que simplesmente conhecimentos de como usar um software de simulação, um estudo de simulação é, por sua natureza, um projeto complexo. Como qualquer projeto, há tarefas para serem completadas e recursos que são exigidos para completá-las. Para um projeto de simulação ser bem sucedido, este tem que ser planejado com um entendimento das exigências de cada uma das tarefas envolvidas. Diante disso, o presente trabalho foi desenvolvido, com a utilização do *software* Arena 12.0, a fim de apontar pontos passíveis de intervenções, fazendo com que essas intervenções gerassem informações suficientes para que o gestor da empresa possa, com base nessas informações, tomar decisões referentes, por exemplo, a expansão de sua linha de produção.

Palavras-chave: Simulação, Processo Produtivo, Decisão e Expansão.

Abstract

This research analyzes the manufacturing process of a metallurgical industry in the city of Petrolina - PE using, for this, the computer simulation. The simulation is a technique available to professionals working in diverse areas, from biology to areas of the exact sciences such as engineering. It is based on building models to represent the systems being evaluated. Simulate requires more than just knowledge of how to use a simulation software. A simulation study is, by its nature, a complex project. Like any project, there are tasks to be accomplished and resources that are required to carry them on. For a simulation project be successful, it has to be planned with an understanding of the requirements of each of the tasks involved. Thus, the present work was carried out using the software Arena 12.0, in order to identify bottlenecks and points of intervention. These interventions would generate sufficient information for the manager of the company to make decisions about the production system, for example, the expansion of its production line.

Keywords: Simulation, Production Process, Decision and Expansion.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Maneiras de estudar um sistema	20
Figura 2: Simulação Determinística (a) X Estocástica (b)	26
Figura 3: Simulação Discreta X Contínua	27
Figura 4: Modelo proposto por Banks.	30
Figura 5: Catálogo de Pias e Tanques da Fábrica Atenas.	48
Figura 6: Catálogo de Caixas d`água, Ar condicionado e Piscinas.	49
Figura 7: Catálogo de Portas e Janelas.	49
Figura 8: Fluxograma da fabricação de uma porta.	50
Figura 9: Planta baixa da fábrica Mestre Zé.	51
Figura 10: <i>Layout</i> do Setor de Corte 1 e Setor de Corte 2.	53
Figura 11: Guilhotina, Viradeira e chapa cortada e virada.	53
Figura 12: Metalon furado e cortado.	54
Figura 13: Prensa para corte de barras, cantoneiras e perfis T.	54
Figura 14: <i>Layout</i> do Setor de Soldagem e suas estações de trabalho.	55
Figura 15: Gabarito de montagem da porta.	56
Figura 16: Modelo da porta aberta.	57
Figura 17: Roteiro de Pesquisa	59
Figura 18: <i>Layout</i> da planta do processo produtivo modelado no Arena.	67
Figura 19: Módulo <i>Create</i> da Chegada dos Componentes.	68
Figura 20: Módulo <i>Process</i> da Montagem da Porta.	69
Figura 21: Módulo <i>Dispose</i>	70
Figura 22: Entrada de dados no módulo <i>resource</i>	71
Figura 23: <i>Run Setup (Replication Parameters)</i>	72
Figura 24: Acréscimo de Margem Bruta para cada real investido em mão-de-obra.	80

Figura 25: Número de Funcionários x Produção Semanal.....80

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classificação de Sistema, Modelo e Simulação.	28
Tabela 2 – Histórico do uso da Simulação Computacional.	36
Tabela 3: Lista de produtos das fábricas.	48
Tabela 4: Lista de matérias-primas utilizadas na fabricação das portas.	52
Tabela 5: Coeficiente de distribuição normal.	62
Tabela 6: Coeficiente d_2 para o número de cronometragens iniciais.	63
Tabela 7: Tempos iniciais coletados para a realização das atividades.	63
Tabela 8: Valores das variáveis usadas na Equação 1.	64
Tabela 9: Distribuições Estatísticas e Erros Quadrados.	66
Tabela 10: Tempo de paradas das atividades.	67
Tabela 11: Valor da hora trabalhada dos funcionários da Mestre Zé.	71
Tabela 12: Comparação da Produção Real X Produção Simulada.	74
Tabela 13: Configuração dos recursos utilizados no Cenário Atual.	75
Tabela 14: Resumo das modificações realizadas em cada cenário.	76
Tabela 15: Recursos Utilizados em cada um dos Cenários Simulados	77
Tabela 16: Dados relativos aos cenários simulados.	79
Tabela 17: Dados relativos aos cenários passíveis de comparação com ações de criação de novas linhas de produção.	81
Tabela 18: Dados relativos às ações de criação de novas linhas de produção.	81
Tabela 19: Comparação entre as situações analisadas.	82

Sumário

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VII
LISTA DE TABELAS	IX
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação.....	13
1.2 Definição do Objeto de Estudo.....	13
1.3 Justificativa.....	15
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo Principal	15
1.4.2 Objetivos Específicos.....	16
1.5 Estrutura do Trabalho.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Planejamento e Controle da Produção	17
2.2 Conceitos Básicos da Modelagem e Simulação	19
2.2.1 Sistema	19
2.2.2 Modelo	21
2.2.3 Simulação	24
2.3 Processos de Modelagem e Simulação	28

2.4	Componentes de um Modelo de Simulação.....	32
2.5	Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	33
2.5.1	Causas de Insucesso no Desenvolvimento da Simulação.....	34
2.6	Softwares de Simulação.....	36
2.6.1	O Software Arena.....	37
2.7	Cronoanálise	38
2.7.1	Tempos Históricos	39
2.7.2	Tempos por Cronometragem Direta.....	41
2.7.3	Tempos Pré-Determinados	43
2.7.4	Amostragem de Trabalho.....	44
2.7.5	Tempos Estatísticos.....	45
2.7.6	A Definição do Método de Obtenção dos Tempos.....	46
2.8	Conclusão	47
3	EMPRESA ESTUDADA.....	48
3.1.1	Processo Produtivo da Fábrica Mestre Zé	50
3.1.2	Setores da Fábrica Mestre Zé.....	51
3.2	Conclusão	57
4	METODOLOGIA	58
4.1	Tipo e Natureza da Pesquisa	58
4.2	Delineamento da Pesquisa	59
4.2.1	Pesquisa Bibliográfica.....	60
4.2.2	Coleta, Tratamento e Análise dos Dados.....	60
4.2.3	Modelagem do Sistema	66
4.2.4	Simulações	75
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	78
5.1	Custos de Produção.....	78

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
6.1 Conclusões	84
6.2 Recomendações	86
REFERÊNCIAS.....	87
ANEXO 1.....	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A simulação computacional é uma técnica que tem sido bastante utilizada nos últimos tempos por profissionais de diversas áreas. Essa técnica ajuda-os a responder questões do tipo: “o que aconteceria se?”. Sua utilização vem tornando-se cada vez mais comum devido ao seu poder de investigar capacidades produtivas, gargalos ou pontos críticos dos sistemas sem que os mesmos sofram perturbação. Tudo isso atrelado a um menor custo, uma vez que estes estudos são realizados no computador.

Hoje em dia, impulsionada pelas necessidades do mundo real e pelo avanço das tecnologias, a simulação se mostrou uma ferramenta estratégica na produção industrial, aplicada aos estudos de reengenharia, mudanças de layout, planejamento de produção, logística entre outros.

Para Law e Kelton (1991), o benefício geral de se aplicar a Simulação à produção é que ela permite ao engenheiro ou gerente obter uma visão sistêmica do efeito que alterações locais terão sobre o desempenho global do sistema de produção. Além disso, diversos benefícios particulares decorrem da aplicação da simulação ao projeto e avaliação de sistemas de produção, tais como, maior utilização de recursos necessários, redução de estoque em processo, maior velocidade e confiabilidade de entrega, menor necessidade de capital, menores custos operacionais, maior compreensão do sistema em razão da coleta de dados requerida pela Simulação e melhor reflexão sobre determinados aspectos do sistema de produção.

1.2 Definição do Objeto de Estudo

Com a evolução dos sistemas produtivos, muitas atividades das empresas tem se apoiado em novas tecnologias, automação e, mais recentemente, nos

sistemas de informação. A utilização destas novas tecnologias, pelas organizações, tem determinado o seu sucesso, neste ambiente cada vez mais competitivo e globalizado. Elas podem ajudar no desenvolvimento de novos produtos, no aumento da qualidade, na redução dos custos e dos prazos de entrega, no aumento da produtividade e, enfim, em um melhor desempenho operacional das organizações.

Ao estudar um sistema produtivo industrial, podem-se encontrar vários fatores relevantes que devem ser levados em consideração para se cumprir os objetivos de produção, tais como: tempo total de produção, variedade de modelos, quantidade de mão-de-obra, quantidade de máquinas, tempo de ciclo das máquinas, tempo de manutenção das máquinas, quantidade de peças produzidas por hora, gestão das pessoas envolvidas, tipo de logística empregada (SLACK, 2002).

Também é sabido que cada decisão nesse setor implica, na maioria das vezes, em consequências financeiras de grande volume. Analisar e avaliar alternativas para a tomada de ações não são tarefas fáceis, principalmente quando os resultados da escolha não podem ser totalmente previstos. Para que esses possam ser vislumbrados, um embasamento técnico mostra-se essencial. Caso contrário, corre-se o risco de realizar investimentos indevidamente ou deixar de fazê-los quando necessários. Embora a importância desse conceito sempre fora reconhecida, a diferença é que, antes, tomar a decisão adequada de forma rápida era um fator de diferenciação e agora, é de sobrevivência.

Para isso, existem várias técnicas disponíveis para a modelagem de sistemas, dentre elas a teoria de filas, método que aborda o assunto através de formulas matemáticas; e a simulação, que é mais utilizada e permite imitar o funcionamento de um sistema real. Usando o computador, a simulação procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo (PRADO, 1999).

Diante dos fatos, identifica-se a problemática de analisar sistemas produtivos utilizando a simulação como ferramenta básica, em busca de soluções mais econômicas para problemas em geral. Em especial, nesse trabalho, lança-se mão da simulação computacional de processos em uma empresa do setor industrial localizada na cidade de Petrolina – PE, voltada à produção de esquadrias metálicas.

1.3 Justificativa

No ambiente de concorrência acirrada em que as empresas se encontram atualmente e considerando a constante evolução tecnológica dos processos de produção, as organizações manifestam cada vez mais o desejo de obter uma imensidão de informações, as quais darão suporte às decisões referentes a investimentos, linhas de produtos, processo de produção e alocação dos custos.

Não obstante a essa realidade, a oportunidade de execução do presente estudo foi vislumbrada em uma empresa do setor industrial na cidade de Petrolina – PE, quando, na oportunidade, o autor praticava seu estágio curricular.

A realidade encontrada era de ineficiência nos processos de fabricação, baixo aproveitamento da mão-de-obra disponível, ociosidade de maquinário e baixa produtividade. Aliado a esses fatos, o ambiente comercial da empresa encontrava-se em franco crescimento, apresentando demanda superior à produção da fábrica. Dessa forma a empresa deixava de lucrar, pois não conseguia atender todos os pedidos.

Assim, justifica-se a necessidade de fazer observações do comportamento geral da linha de produção, onde se pretende apresentar propostas de melhorias que possam ser eventualmente viabilizadas em aplicações diretas, buscando o aumento de produtividade, diminuição das horas extras e conseqüentemente diminuindo o custo produtivo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Principal

Modelar, simular e propor intervenções na produção de esquadrias metálicas (portas e janelas), utilizando para isto conceitos de administração da produção e simulação computacional.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para o atingimento do objetivo principal, o mesmo foi desdobrado nos seguintes objetivos específicos.

- Identificar estratégias de gestão da produção no ambiente envolvido;
- Coletar informações sobre tempos e movimentos do sistema de produção atual;
- Modelar e simular o sistema produtivo atual;
- Identificar gargalos e elaborar cenários que possam ser utilizados como subsídio para a tomada de decisão.

1.5 Estrutura do Trabalho

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos além desse capítulo introdutório.

O segundo capítulo traz um resumo teórico dos conceitos que norteiam esse trabalho, abordando os temas de modelagem e simulação, planejamento e controle e cronoanálise.

O terceiro capítulo trata da descrição da empresa estudada e da sua linha de produção, visando situar o leitor acerca da disposição inicial da linha de produção no momento em que fora iniciado o estudo para modelagem e simulação.

O quarto capítulo foi destinado a expor a metodologia adotada na coleta de dados e simulação, bem como parâmetros adotados para atingir os objetivos propostos.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos, e a análise dos mesmos.

Por fim, o sexto capítulo expõe as conclusões sobre os resultados obtidos, apresentando as limitações deste e as oportunidades para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados conceitos importantes a respeito da modelagem e simulação. Serão apresentadas as vantagens e desvantagens do uso da simulação, bem como os *softwares* utilizados para a modelagem.

Ainda será possível conhecer conceitos relativos ao Planejamento e Controle da Produção.

Finalmente será abordada a metodologia para se determinar o modo de coletar os tempos de execução de cada atividade envolvida na produção.

2.1 Planejamento e Controle da Produção

O planejamento e o controle da produção formam a função administrativa que tem por objetivo criar os planos que orientarão a produção e servirão de guia para o seu controle. Em termos simples, o planejamento e o controle da produção determinam: o que, quando, como, onde, quem e quanto serão ou foram produzidos.

Na fase do planejamento, são feitos os planos do que deverão acontecer na produção e na fase do controle, observa-se o que foi feito, ou seja, o que foi produzido, controlando se está tudo conforme o planejado (MACHLINE, 1986; SLACK, 2002).

Planejar é uma atividade comum a qualquer tipo de empresa, independente de tamanho ou de ramo a que se dedique. Constantemente, todas as áreas estão envolvidas com planejamento, de maneira formal ou informal. Segundo Shimizu (2001), há inúmeras decisões que compõem o próprio planejamento, como por exemplo:

- Quanto se deve fabricar de cada linha de produtos nos próximos dias, semanas ou meses;
- Tipos de produtos a oferecer daqui há dois, três ou dez anos;
- Evolução da tecnologia nos próximos anos;

- Necessidade de investimentos futuros;
- Adoção de novos processos e tecnologias;
- Ampliação e/ou construção de novas instalações;
- Contratações futuras de pessoal e treinamento;
- Necessidades de matérias-primas, entre outros.

A ideia de se planejar e controlar a produção possui diferentes visões de necessidades. Para Slack (2002), é uma forma de garantir que a produção flua eficazmente. Já para Correa e Gianesi (1996), o que se leva em consideração é o fato de se planejar a necessidade futura da capacidade produtiva.

Um fato importante a se destacar é que a eficácia do controle presente depende da eficiência das previsões futuras, da lógica que traduza o presente e o futuro e os objetivos que se pretendam atingir (CORREA e GIANESI, 1996).

Assim sendo, pode-se definir planejamento e controle da produção como sendo a capacidade de se controlar, com eficácia, o presente através da influência de dados levantados por uma visão de futuro.

Normalmente, planejamento e controle são tratados de forma única, porém existem fatos diferentes que levam a uma divisão entre os temas. Isto porque o planejamento é uma declaração de intenções para o futuro, levando em consideração a situação presente e os objetivos pretendidos (SLACK, 2002).

Porém, o processo produtivo é dinâmico e nem sempre o que foi planejado será executado no momento da operação, isso faz com que o planejador tenha sempre que estender sua visão de futuro, transformando o planejamento em algo contínuo (CORREA e GIANESI, 1996).

Esses acontecimentos podem ocorrer pelo não cumprimento dos objetivos planejados, seja em quantidade ou em prazo de entrega, ou de alguma forma, o fornecedor deixou de entregar a matéria prima ou até por uma parada inesperada do equipamento que faça com que o processo tenha que ser interrompido.

Para isso surge a definição individual de controle, que para Slack (2002) é o executor de ajuste que permite que a operação atinja seus objetivos, mesmo que as suposições planejadas não se cumpram.

Essa dinâmica do processo faz com que se criem alguns procedimentos que separam o planejamento do controle, e que estão bem representados por Correa e Gianesi (1996), como segue:

- **Passo 1** – Refere-se a planejamento, pois trata do levantamento da situação presente das atividades e dos recursos do processo;
- **Passo 2** – Também se refere ao planejamento, pois indica o desenvolvimento e o reconhecimento da visão do futuro;
- **Passo 3** – Considerado o último ponto do planejamento, levantando a lógica que interpreta a visão de futuro com a “fotografia” da situação atual;
- **Passo 4** – Relacionado ao controle, diz respeito à tomada de decisão gerencial com base nos dados do planejamento;
- **Passo 5** – Execução do plano, onde se aplica na prática o desenvolvimento dos passos anteriores.

Esta situação é mantida até que novas variáveis impossibilitem a eficácia das decisões. Nesse momento deve-se iniciar um novo levantamento da situação presente e recomeçar o ciclo dos cinco passos. Para isso existem ferramentas que auxiliam no cumprimento desses passos, dentre elas está a Simulação Computacional, que foi usada nesse trabalho.

2.2 Conceitos Básicos da Modelagem e Simulação

Para um entendimento satisfatório sobre simulação, é preciso conhecer as definições de sistema e modelo.

2.2.1 Sistema

Para Law e Kelton (2000), um sistema pode ser definido como uma coleção de entidades, pessoas ou máquinas, que agem e interagem juntas através de suas habilidades com algum objetivo específico. Segundo os mesmos autores, um estado do sistema pode ser definido como o conjunto de variáveis necessárias para descrever um sistema em um intervalo de tempo.

O sucesso da análise de um problema e os recursos necessários para a sua solução dependerão da maneira como o objeto de estudo será abordado. Law e Kelton (1991) descrevem as maneiras como um sistema físico pode ser estudado. As maneiras possíveis de estudar um sistema são representadas na Figura 1.

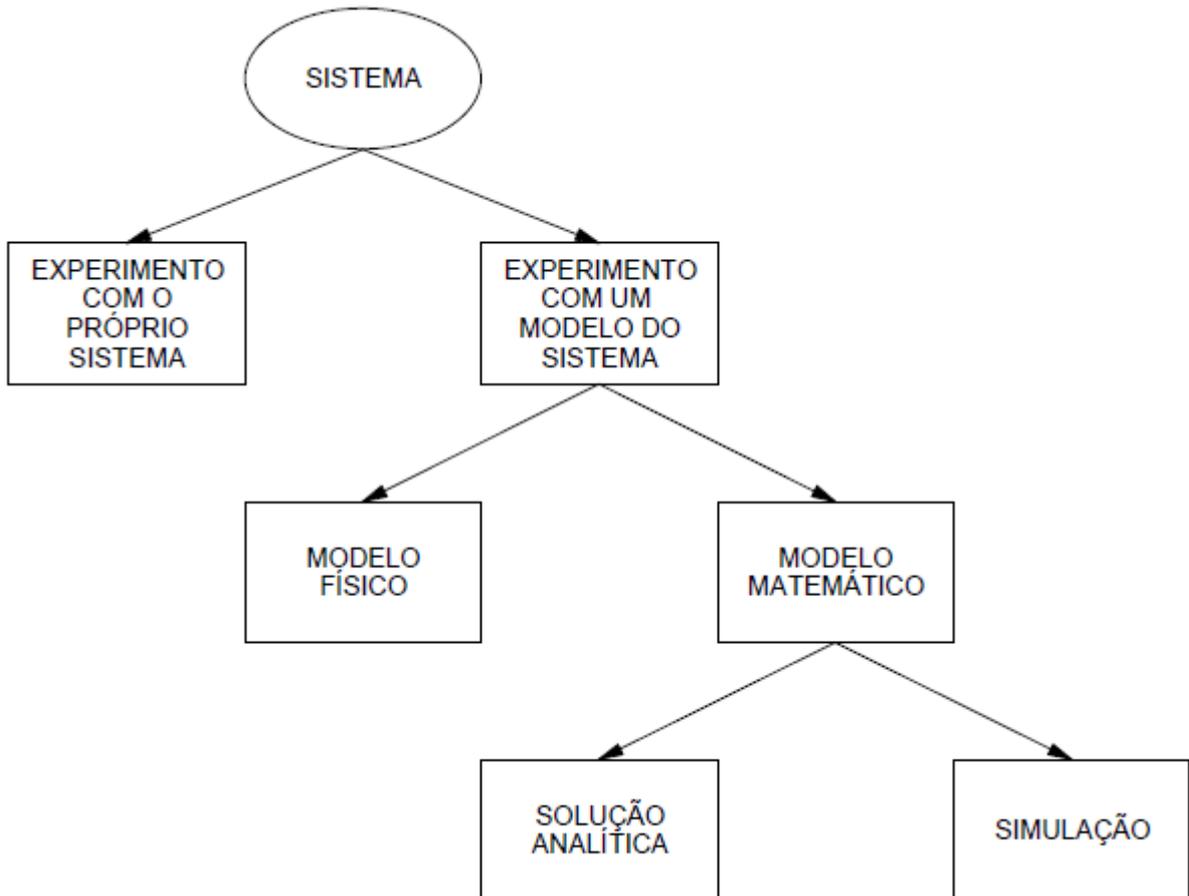


Figura 1: Maneiras de estudar um sistema

Fonte: Law e Kelton (1991).

Uma das maneiras de estudar um sistema é fazendo-se experimentos com ele próprio e analisar seu comportamento. Esta alternativa normalmente é a que apresenta maiores custos e riscos envolvidos, pois as alterações no projeto inicial, que vêm se demonstrando necessárias, podem desviar-se muito da concepção original, aumentando os gastos acima do planejado. Podem, também, ocorrer problemas que não haviam sido previstos, dificultando a execução do experimento. Além disto, o sistema físico pode simplesmente não existir e a sua construção (ou a construção de sua configuração mais adequada) pode depender de uma análise

criterosa de diversos fatores envolvidos, apenas possível, após exaustivas experimentações com diferentes configurações.

Nos casos em que não é possível ou não é recomendável fazer-se a experimentação com o próprio sistema, pode-se construir um modelo representativo do sistema estudado e analisar o comportamento deste modelo diante de diferentes cenários.

2.2.2 Modelo

O homem, ao estudar sistemas, objetos ou fenômenos, muitas vezes depara-se com dificuldades em analisá-los na sua forma natural de existência, por dificuldade de acesso, medição ou mesmo altos riscos e custos envolvidos. Por isso, são utilizadas formas de representação que permitam manipular e compreender as entidades estudadas, tanto em seus aspectos qualitativos como nos quantitativos. Esta representação é feita por meio de modelos (STRACK, 1984).

Em casos de otimização, o uso de modelos traz muitos benefícios, e em algumas situações, é inevitável, quando o sistema real não existe, porque se trata de um projeto, ou porque não está disponível para experimentos, devido a diversos motivos, como riscos de grandes prejuízos ou de vidas. A essência da otimização concentra-se na construção e uso de modelos (STAMM, 1998).

Define-se como modelo a equação ou representação que traduz em resumo uma parcela do comportamento esperado pelo sistema real. Pode-se dizer que, ao trocar as entradas e saídas por valores numéricos, tanto o modelo matemático quanto o sistema real trarão respostas aproximadas ou, então, exatamente iguais. O modelo é utilizado como um veículo para a experimentação, em procedimentos de tentativa e erro, tendo como objetivo a previsão de situações diversas e a prevenção de comportamentos no sistema real (FREITAS, 2001).

Para Bratley, Bennet e Schrage (1987), um modelo é uma descrição de algum sistema com o objetivo de se prever o que acontece quando determinada atitude é tomada. Para isso o mesmo deve ser válido. No entanto, as fronteiras entre o sistema e o modelo devem estar bem definidas, já que muitas forças que afetam o sistema precisam ser omitidas no modelo para que o mesmo continue sendo tratável, mesmo quando não há provas de que tais fatores realmente afetam o

sistema. Sendo assim, inevitavelmente, o modelo acaba sendo mais bem definido do que o sistema. Para um modelo ser útil, é essencial que, após sua realização, qualquer comportamento relevante ou propriedade seja determinado de maneira prática. Seja analiticamente, numericamente ou manipulando o modelo com dados de entrada (aleatórios ou não), que sejam capazes de produzir determinadas saídas.

Os modelos podem ser classificados de diferentes maneiras. Strack (1984) classifica os modelos em quatro tipos, que são os que se seguem:

- Modelos icônicos ou físicos: Enquadram-se neste tipo os modelos que são representados por atributos físicos semelhantes aos sistemas em estudo. Podem ser bi ou tridimensionais e são utilizados para demonstração ou experimentação indireta. A este grupo pertencem os protótipos, modelos pilotos e modelos em escala. Os primeiros podem ser descritos como uma cópia do sistema real, contendo quase todos seus níveis de detalhes e atributos. São utilizados para minimizar os riscos e incertezas, associados com a realização de experiências em sistemas já definidos. Os modelos pilotos representam uma versão do sistema ou processo em questão contendo os atributos essenciais predominantes na entidade modelada. São normalmente utilizados em laboratórios ou locais bem determinados, para produzirem as mesmas operações e resultados do sistema modelado, mas não em escala industrial. Os modelos em escala dizem respeito às reduções das dimensões do modelo em relação ao sistema real, como túneis, estradas entre outros;
- Modelos analógicos: São aqueles nos quais as propriedades em estudo são representadas por conjuntos de dispositivos análogos, ou seja, que se comportam de maneira similar. Os estudos são realizados com um tipo de variável e os resultados transferidos para outras variáveis. A substituição de variáveis pode acontecer em dois casos. O primeiro se refere à semelhança de variáveis, como no caso em que os fluxos de água representam corrente elétrica. No segundo caso, é o de computador eletrônico analógico que simula com tensão elétrica outros tipos de variáveis, soluciona equações diferenciais e permite o acoplamento do computador simulador aos sistemas em estudo. Gráficos são tipos de modelos analógicos. Nestes a distância pode representar o valor das

variáveis modeladas, a forma das linhas mostrar as inter-relações e as dimensões podem representar custos, tempo, produção entre outros;

- Modelos matemáticos: São aqueles que fazem uma abstração da realidade utilizando conceitos complexos envolvendo linguagens formais, sentenças e expressões cujas sintaxes e semânticas matemáticas guardam uma semelhança básica com o conceito de modelos para simulação, que é a relação de satisfação, ou seja, a condição de semelhança entre a estrutura e a teoria (STAMM, 1998); Para Strack (1984), são os modelos onde são buscadas interpretações matemáticas para os atributos físicos, constituindo o tipo mais abstrato, mais geral e com grande uso em estudos de sistemas. O mesmo autor os divide em dois grupos: analíticos e numéricos. Os primeiros são aqueles que resultam em uma expressão matemática bem definida entre as variáveis dependentes e independentes. E a solução é alcançada através da resolução de tal expressão. Nos modelos numéricos não é necessário o conhecimento de equações numéricas que regem o sistema. A solução é obtida por interações, métodos de convergência, interpolação, sendo fornecido um valor estimado juntamente com o erro do método;
- Modelos de simulação: Quando as relações que compõem o modelo são relativamente simples, é possível empregar métodos matemáticos como a álgebra, o cálculo ou a teoria da probabilidade para obter informações sobre questões de interesse (LAW e KELTON, 2000). Neste tipo de modelo, as representações são feitas por meio de procedimentos lógicos ou matemáticos e para obtenção de resultados, eles são “executados” ao invés de serem “resolvidos”. A simulação não é uma teoria, mas uma metodologia de resolução de problemas. Nesse sentido, trata-se de um método de análise que não gera soluções por si só, como os modelos analíticos, mas servem como técnica ou ferramenta para “atuar da mesma maneira” que o sistema estudado, de onde são obtidos dados estatísticos de desempenho para análise (STRACK, 1984).

Para Freitas (2001), os modelos podem ser classificados, quanto ao objetivo, da seguinte forma:

- Voltados à previsão: procuram prever situações futuras;
- Voltados à investigação: buscam hipóteses de comportamento;
- Voltados à comparação: através da alteração nas variáveis de controle, comparam-se os resultados para definições de comportamentos.

2.2.3 Simulação

A simulação trata-se de uma ferramenta de planejamento, disponibilizada pela área de pesquisa operacional que permite a geração de cenários, a partir dos quais se pode: orientar o processo de tomada de decisão, realizar análises e avaliações de sistemas e propor soluções para a melhoria de desempenho. Sendo que, todos estes procedimentos podem ter por conotação parâmetros técnicos e, ou, econômicos (ARAÚJO, 2010).

De acordo com Saliby (1998) simulação é o processo de elaborar modelos de sistema real e de conduzir experimentos, com a finalidade de compreender o comportamento do sistema ou de avaliar as possíveis estratégias para operação do sistema.

Para Polari (2006), simulação é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real.

Já Pegden (1990), criador do *software* de simulação ARENA, define simulação como uma das mais poderosas ferramentas de análise disponíveis para os responsáveis por projeto e operação de processos complexos ou sistemas. Em um mundo de crescente competitividade, simulação se tornou uma ferramenta muito poderosa para planejamento, projeto e controle de sistemas. Não mais renegado ao posto de “último recurso”, hoje ela é vista como uma metodologia indispensável de solução de problemas para engenheiros, projetistas e gerentes.

A simulação permite também que você experimente no computador um modelo do seu sistema num curto espaço de tempo, propiciando a você uma capacidade de tomada de decisões que é impossível através de qualquer outra tecnologia (HARRELL, 2000).

Law e Kelton (1991) identificam três categorias gerais de problemas em produção que podem ser solucionados com auxílio da Simulação:

- a) Dimensionamento de recursos físicos e mão-de-obra, considerando sistemas de movimentação de materiais, “pulmões” de estoque e mix de produção.
- b) Avaliação do sistema: determinação da capacidade de produção e do tempo de fluxo e identificação de gargalos.
- c) Avaliação de decisões operacionais: níveis de estoque, programas de produção, níveis de controle de sistemas automatizados, confiabilidade de atividades de manutenção e de controle de qualidade.

Todos os autores citados acima concordam sobre a possibilidade de aplicação da simulação nas mais diferentes áreas, desde a área de saúde, até a militar. No entanto, neste trabalho a linha de estudo é a manufatura onde possibilidade de realização de estudos de simulação torna-se muito interessante.

A maneira como a simulação do sistema trabalha (com o uso de distribuições estatísticas, considerando-se o tempo ou não, ou com variáveis discretas ou não, etc) está diretamente relacionada com o tipo de simulação utilizada (HARRELL *et al*, 2000). As classificações mais usuais são: dinâmica ou estática, determinística ou estocástica, discreta ou contínua e terminante ou não terminante.

2.2.3.1 Simulação Estática e Dinâmica

Para Law e Kelton (2000), simulação estática é a representação de um sistema em um dado momento. Um exemplo é a simulação de Monte Carlo que Prado (1999) define como uma maneira de se transformar um conjunto de números aleatórios em outro conjunto de números (variáveis aleatórias), com a mesma distribuição da variável considerada. A simulação dinâmica é a representação de um sistema no decorrer do tempo. Esse tipo de simulação é apropriado para a análise de sistemas de manufatura e serviços que sofrem influência do tempo.

2.2.3.2 Simulação Determinística e Estocástica

Para Pereira (2000), os modelos de simulação são determinísticos quando as variáveis de entrada assumem valores exatos, assim, os resultados (saídas) desse tipo de simulação serão sempre os iguais independentemente do número de replicações. Os modelos estocásticos permitem que as variáveis de entrada assumam diversos valores dentro de uma distribuição de probabilidades a ser definida pelo modelador. Os resultados gerados pelos modelos estocásticos são diferentes a cada replicação, em função da natureza aleatória das variáveis de entrada no modelo (Ver Figura 2).

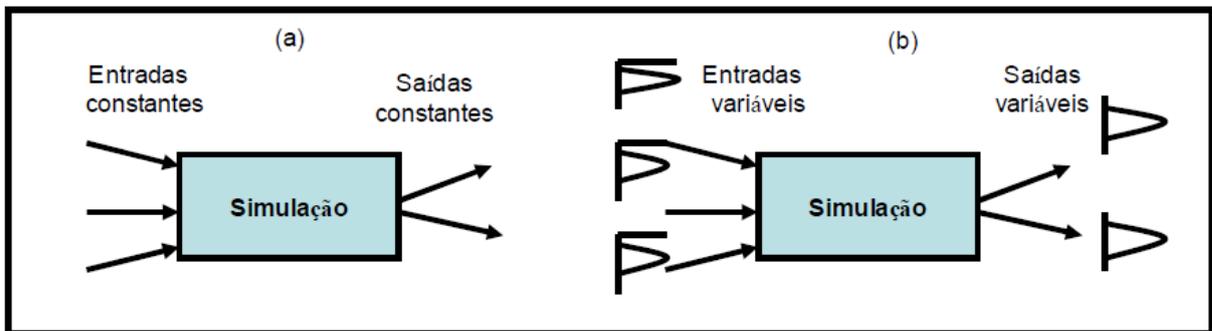


Figura 2: Simulação Determinística (a) X Estocástica (b)

Fonte: Duarte (2003).

2.2.3.3 Simulação Discreta e Contínua

Para Strack (1984), a simulação contínua modela sistemas em que suas variáveis mudam continuamente de valor. É utilizada em estudos que consideram os sistemas constituídos por um fluxo contínuo de informações ou itens. A simulação discreta caracteriza-se por eventos onde as mudanças ocorrem de maneira descontínua, ou seja, sofrem mudanças bruscas. A Figura 3 ilustra essa diferença entre os tipos de simulação discreta e contínua.

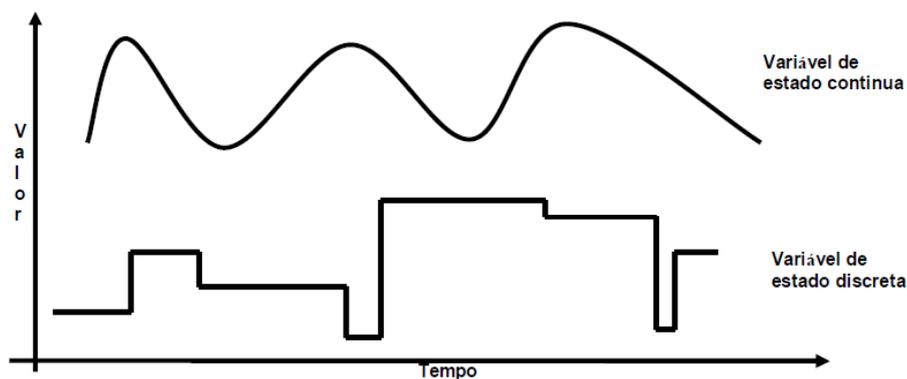


Figura 3: Simulação Discreta X Contínua

Fonte: Duarte (2003)

2.2.3.4 Simulação Terminante e Não Terminante

Segundo Law e Kelton (2000), a simulação é terminante quando o objetivo é estudar um sistema num dado intervalo de tempo, ou seja, conhecer seu comportamento ao longo deste intervalo, sendo definidas as datas de início e término da simulação. Exemplos são simulações realizadas em postos de cobrança de pedágio onde se deseja definir o número de postos em funcionamento de acordo com a hora do dia; assim, o intervalo de interesse está entre zero e vinte e quatro horas.

A simulação pode ser classificada como não terminante quando o objetivo é estudar o sistema a partir do momento em que este atinge um estado estável, alcançado após um período de aquecimento, onde se determina e elimina as tendências iniciais. Presumindo que a simulação poderia continuar infinitamente sem nenhuma mudança estatística no comportamento. Assim, uma simulação do comportamento das pás de uma turbina pode ser considerada não terminante, desde que o interesse seja estudar as características de seu escoamento em condições estáveis, após um período de aquecimento.

Na Tabela 1, Pereira (2000) mostra de maneira sucinta a classificação de sistemas e modelos para simulação, além da classificação da própria simulação.

Tabela 1: Classificação de Sistema, Modelo e Simulação.

Sistema	Modelo		Simulação
DISCRETO: Variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	DETERMINÍSTICO: Variáveis assumem valores determinados.	ESTÁTICO: Estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	TERMINANTE: Há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.
CONTÍNUO: Variáveis mudam constantemente com o tempo.	ESTOCÁSTICO: Variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	DINÂMICO: Representa o sistema a qualquer tempo.	NÃO TERMINANTE: Há o interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo, prolongar-se indefinidamente.

Fonte: Pereira (2000).

2.3 Processos de Modelagem e Simulação

Dentro dos processos de modelagem podem-se citar dois essenciais, que melhor traduzem a aplicação de modelos aos processos industriais: A abordagem de Agrupamento (*Bottom-up*) e a abordagem de Refinamento (*Top-down*).

a) Agrupamento ou *Bottom-up*

Esta abordagem consiste na definição de diversas sub-redes, descrevendo sistemas mais simples de forma que, ao serem unificados, constituem uma representação esquemática de todo o processo.

Segundo Moraes e Castrucci (2001), para a obtenção destas sub-redes, busca-se adequar a alguns subtipos que podem ser modelados separadamente para a posterior unificação numa planta essencialmente industrial. São eles:

- Estoque Intermediário;
- *Overflow* ou desvio;
- *Buffer First-in First-out* (primeiro a entrar, primeiro a sair no estoque);
- Concorrência ou Paralelismo;

- Recursos compartilhados e sub-redes de sincronização;
- Rede de escolha automática de servidor.

b) Refinamento ou *Top-down*

Esta técnica consiste na elaboração inicial de uma análise prévia super-resumida do macro sistema e, em sucessivas explosões das transições e posições existentes, assim, irão se definindo as sub-redes componentes do macro sistema.

Primeiramente, definem-se as posições e transições básicas do sistema como um todo, analisando-se apenas as entradas e saídas imediatas, sem preocupação com as entrelinhas, a definir durante o processo de refinamento.

Segundo Moraes e Castrucci (2001), nesta técnica, as sub-redes são definidas através dos passos a seguir:

- Refinamento das Transições;
- Refinamento das Posições;
- Um Algoritmo para Modelagem *Top-down*.

Mesmo com o auxílio da computação, faz-se necessário obter a prévia modelagem do sistema, para o qual se utiliza geralmente o modelo já consagrado de Banks (1984). A Figura 4 representa este modelo que conta com alguns passos de execução, que são divididos em quatro etapas:

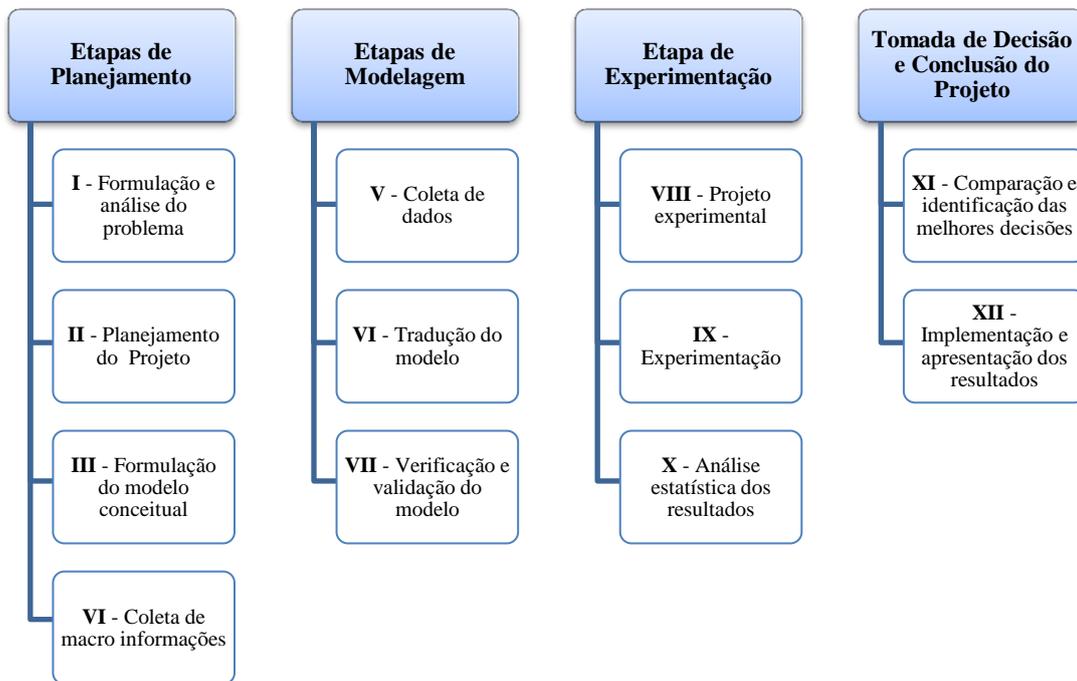


Figura 4: Modelo proposto por Banks.

Fonte: Banks (1984).

a) Etapa de Planejamento

- **I. Formulação e Análise do Problema** – Na qual são feitos levantamentos de dados relativos ao problema e definido o foco de ação da simulação;
- **II. Planejamento do Projeto** – Estudo minucioso da problemática e definição da estratégia de ação para simulação;
- **III. Formulação do Modelo Conceitual** – Transposição visual e matemática do problema de forma a resumir os pontos-chave e direcionar a aplicação da simulação;
- **IV. Coleta de Macro-Informações** – De posse dos pontos-chave, procede-se a coleta direcionada das informações relevantes à simulação, como especificações técnicas de equipamentos, relatórios de produção, média de produtividade dentre outros recursos estatísticos;

b) Etapa de Modelagem

- **V. Coleta de dados** – Refinamento das informações coletadas e separação em blocos para definição de ações específicas para cada ponto-chave;
- **VI. Tradução do Modelo** – Transposição visual e matemática do problema de forma a detalhar ao máximo os pontos-chave e propiciar a aplicação da simulação;
- **VII. Verificação e Validação do Modelo** – Aplicação e resolução experimental do modelo de forma a testar e confirmar a validade de seu uso;

c) Etapa de Experimentação

- **VIII. Projeto Experimental** – Cria-se, a partir do modelo constituído anteriormente, um ambiente de simulação que o obedeça e permita a realização de diversos ensaios de simulação;
- **IX. Experimentação** – Utiliza-se o projeto para diversas situações, conforme foi definido na estratégia da simulação para ajustes e obtenção de dados estatísticos simulados;
- **X. Interpretação e Análise Estatística dos Resultados** – A partir dos resultados obtidos na experimentação, formulam-se relatórios analíticos e estatísticos de forma a traduzir claramente os objetivos atingidos;

d) Tomada de Decisão e Conclusão do Projeto

- **XI. Comparação de Sistemas e Identificação das Melhores Soluções** – Com base nos dados simulados em contraposição aos dados reais obtidos por amostragem na planta real, identificam-se os novos pontos-chave, relativos agora às soluções do problema estudado e, traçam-se planos estratégicos para melhoria e modificação em planta;
- **XII. Documentação, Apresentação dos Resultados e Implementação** – Finalizadas as etapas prévias, pode-se seguramente documentar os resultados e apresentar as soluções encontradas para implementação definitiva na planta.

2.4 Componentes de um Modelo de Simulação

Há terminologias e conceitos importantes que são comuns na modelagem e simulação de sistemas. A seguir apresenta-se agora um resumo destas terminologias e conceitos relacionados à simulação (FREITAS, 1990).

- Variáveis: são valores globais do sistema, visíveis a qualquer momento e a qualquer ponto do modelo. Por exemplo: o tempo de simulação é uma variável global de um sistema de produção;
- Variáveis de estado: as variáveis de estado fornecem um conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema num determinado momento. Quando a execução de uma simulação é interrompida, é possível continuá-la do ponto que parou se, e somente se, os valores das variáveis de estado forem conhecidos. Além do mais, elas ajudam a determinar se o tipo de modelo é discreto ou contínuo. Um exemplo de variável de estado é a quantidade de produtos em uma linha de produção em um determinado instante da simulação;
- Eventos: toda mudança no estado do sistema é feita pela ocorrência de um evento. Os eventos podem ser programados ou não. Quando ocorrem provocam mudanças nas variáveis ou atributos. Um exemplo de um evento é a entrada de um produto em um sistema de produção, ou a sua paragem em uma estação de trabalho;
- Entidades: são elementos do sistema que podem ser distinguidos individualmente dentro do modelo. As entidades podem ser dinâmicas ou estáticas. No caso de dinâmicas, elas levam em consideração o tempo. Um exemplo de entidade dinâmica é o produto. Esta entidade circula pelo sistema sofrendo ações de mover-se pela linha de produção ou parar nas estações de trabalho. As entidades também podem ser estáticas, servindo a outras entidades, e nesse caso são chamadas de recursos;
- Recursos: são entidades estáticas que provêm serviços às entidades dinâmicas. Por exemplo: Os produtos são “criados” e “lançados” no sistema se a estrada estiver criada;

- Atributos: são as características próprias de cada entidade. No caso da entidade produto, o lote é um atributo que o identifica. Os atributos podem atrelar valores importantes a serem transportados ao longo da simulação;
- Processos: os processos são ações realizadas sobre a entidade ao longo da simulação;
- Tempo simulado e tempo de simulação: o primeiro refere-se ao tempo real. Enquanto o tempo de simulação refere-se ao o tempo necessário à execução de uma “rodada” de simulação no computador, também chamado de tempo lógico.

2.5 Vantagens e Desvantagens da Simulação

Vários autores, como Banks (1998), Freitas (1990) e Pedgen (1990), apresentam em seus trabalhos as vantagens e desvantagens relacionadas ao uso da simulação. Dentre as vantagens, pode-se citar:

- Um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos propostos;
- Mesmo que os dados de entrada estejam sob a forma de rascunhos, o uso da simulação permite avaliar o sistema;
- Geralmente métodos analíticos são mais difíceis de aplicar do que a simulação;
- Possuem grande flexibilidade, pois se aplicam aos mais variados modelos;
- Os modelos analíticos requerem maior número de simplificações que os modelos de simulação, que por sua vez possuem maiores níveis de detalhes que a técnica anterior, podendo assim analisar melhor o sistema;
- Hipóteses podem ser testadas e confirmadas, dependendo dos resultados;
- O tempo de simulação é independente do tempo real, ou seja, durante a simulação pode-se acelerar ou retardar a reprodução dos fenômenos, para melhor estudá-los;
- A identificação de “gargalos” fica mais fácil, principalmente com a ajuda visual, que algumas ferramentas dispõem;

- Responde questões do tipo: “o que aconteceria se?”, permitindo o estudo de vários cenários;
- Possui um processo de modelagem evolutivo. Inicia-se com um modelo simples e aumenta-se sua complexidade aos poucos, observando as peculiaridades do problema;
- Os resultados de uma simulação, submetidos a uma série de etapas de modelagem, teste, validação e representação visual, têm melhor aceitação que a opinião de uma única pessoa.

Os mesmos autores citam também desvantagens relacionadas ao uso da simulação, dentre elas:

- Alguns sistemas complexos levam muito tempo modelando e executando. A tentativa de simplificar o modelo pode levar a resultados inconsistentes;
- Em algumas simulações os resultados são de difícil interpretação. É difícil determinar quando uma observação durante uma “rodada” da simulação se deve a alguma relação relevante do sistema, ou a processos aleatórios intrínsecos ao modelo;
- A construção de modelos requer treinamento; a técnica é aprendida e aperfeiçoada com o tempo através da experiência;
- A programação de um modelo pode tornar-se uma tarefa árdua e dispendiosa se os recursos computacionais, principalmente a ferramenta de simulação escolhida, não forem apropriados.

2.5.1 Causas de Insucesso no Desenvolvimento da Simulação

Segundo Brito e Feliz (2001), o desenvolvimento do modelo é uma tarefa que poderá ser bastante demorada, é aconselhável que quem desenvolva possua suficiente destreza para definir o grau de precisão a utilizar, não se perdendo no desenvolvimento de um modelo muito complexo, quando os mesmos resultados se poderiam obter através de um modelo mais simples.

Seguidamente, são apresentadas algumas das causas de insucesso no desenvolvimento da simulação, que são referidas com frequência por vários autores:

- No arranque do desenvolvimento da simulação não ter os objetivos bem definidos;
- Nível inadequado de detalhes: pouco detalhe ou muito detalhe;
- A falta de comunicação entre quem desenvolve e os responsáveis pelo sistema simulado durante o desenvolvimento da simulação;
- Uma má interpretação do sistema a desenvolver pela equipe que realiza o desenvolvimento do modelo;
- Falha de compreensão dos resultados da simulação por parte dos responsáveis;
- Tratar a simulação de forma amadora, como um simples exercício;
- Falha em formar uma equipe com conhecimentos de metodologias e técnicas de simulação;
- Falha na obtenção de dados representativos do comportamento do sistema;
- *Software* de simulação inadequado;
- Ferramenta de simulação muito complexa e com documentação inadequada;
- Crença de que ferramentas de simulação sofisticadas e com recursos amigáveis, não necessitam de conhecimentos técnicos da teoria de simulação;
- Utilização de animação não adequada;
- Falha na não consideração ou na consideração inadequada dos fatores aleatórios no comportamento do sistema em estudo;
- A utilização de distribuições incorretas, isto é, que não correspondem ao comportamento real, como dados de entrada da simulação;
- Análise dos dados de uma execução da simulação utilizando fórmulas que supõem independência;
- Executar uma única vez a simulação e considerar os dados obtidos como a resposta verdadeira (tempo de execução inadequado);
- Utilizar medidas de desempenho inadequadas.

2.6 Softwares de Simulação

Os primeiros programas de simulação utilizavam linguagens de propósito gerais, como FORTRAN. Os programas eram grandes e perdia-se muito tempo na elaboração de rotinas e na procura de erros, mesmo em sistemas simplificados. Essas linguagens exigiam um forte conhecimento de programação, apesar de, por outro lado, darem maior flexibilidade de programação, permitindo simular-se uma grande diversidade de sistemas. Na Tabela 2 pode-se observar a evolução desses programas.

Tabela 2 – Histórico do uso da Simulação Computacional.

Anos	Ferramentas	Características do Estudo de Simulação	Exemplos
50 e 60	Linguagens de propósito geral	Aplicadas em grandes corporações; Os grupos de desenvolvimento de modelos com 6 a 12 pessoas. Grandes investimentos em capital; Aplicáveis a qualquer contexto; Exigem conhecimento profundo da linguagem; Exigem muito tempo de desenvolvimento; Não são totalmente reutilizáveis.	FORTRAN
70 e início dos 80	Linguagens de simulação	Utilização em um maior número de corporações; Desenvolvimento e uso de pacotes de linguagens; Linguagens de simulação baseadas em sistemas dinâmicos; Comandos projetados para tratar lógica de filas e demais fenômenos comuns; Mais amigáveis, mas ainda requerem programadores especializados.	SIMSCRIPT, GPSS, GASP IV, DYNAMO, SIMAN, SLAM.
80 e início dos 90	Simuladores de alto nível	Introdução do PC e da animação; Presença de guias e caixas de diálogos; Facilidade de uso; Menos flexíveis que as linguagens de propósito geral e de simulação; Projetados para permitir modelagem rápida; Dispõem de elementos específicos para representar filas, transportadores etc.	Simfactory, Xcell, SIMAN, CINEMA.
Após 90	Pacotes flexíveis de linguagens de simulação	Melhor animação e facilidade de uso; Fácil integração com outras linguagens de programação; Grande uso em serviços; Uso para controlar sistemas reais; Aprimoramento dos simuladores, o que permite modelagem rápida.	Witness, Extend, Stella, Arena.

Fonte: Law e Kelton (2000).

Para os fins do presente estudo, foi escolhido o *software* de simulação computacional denominado Arena. A escolha deste *software* deve-se principalmente: à sua disponibilidade em versão gratuita para estudantes e à familiarização da ferramenta por parte do autor.

2.6.1 O *Software* Arena

O programa ARENA é originário da junção de dois outros programas denominados SIMAN e CINEMA. Segundo Prado (1999), o SIMAN é uma linguagem de simulação e, em 1983, deu nome ao primeiro programa de simulação para computadores pessoais. O CINEMA foi o primeiro programa para animação de simulação e surgiu em 1984. Este conjunto foi continuamente melhorado e, a partir de 1993, os programas foram unificados em um único *software*, o ARENA.

Esse *software* une os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso, num ambiente gráfico integrado, que contém todos os recursos para modelação de sistemas, desenho do modelo, animação das entidades, análise estatística e análise de resultados. Combina a facilidade de utilização dos simuladores de alto nível com a flexibilidade das linguagens de simulação e linguagens de programação genéricas (KELTON, *et al.* 2002).

Segundo Fioroni (2007) o funcionamento conceitual de um modelo no ARENA acontece da seguinte maneira: o usuário descreve, durante a construção do modelo, todos os elementos estáticos como recursos e outros, e também as regras de comportamento a serem seguidas. Ao se iniciar a simulação, os elementos dinâmicos (entidades) entram no modelo, interagem com os elementos estáticos e circulam conforme as regras que foram modeladas.

Para Prado (1999), o ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. Ele foi considerado por renomados especialistas em simulação como "O mais inovador *software* de simulação", por unir os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado.

O Arena apresenta um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados e

utiliza a abordagem por processos para execução da simulação. Ele também é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever um sistema real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos da modelagem em Arena são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc. que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação; e por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações (PRADO, 1999).

Além de permitir a construção de modelos de simulação, o ARENA possui uma ferramenta importantíssima para a realização desse trabalho. A ferramenta é o Analisador de dados de entrada (*Input Analyser*) que permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. Esta distribuição pode ser incorporada diretamente ao modelo;

Essas ferramentas ajudaram na escolha da distribuição estatística e na elaboração de relatórios que serviram de base para comparações entre os resultados obtidos nas simulações.

2.7 Cronoanálise

A execução de qualquer trabalho envolve o emprego de recursos dos mais variados tipos. É evidente que os tipos de recursos necessários dependem da natureza do trabalho (LEME, 1973). Na confecção de um eixo, por exemplo, aço, máquinas e ferramentas são, entre outros, recursos necessários. Já na confecção de lápis, o aço não será empregado, porém madeira, bem como tipos diferentes de máquinas. Há, todavia, um recurso comum a todo e qualquer trabalho o tempo necessário à sua execução, ou seja, sua duração. A duração é, portanto, parte integrante de qualquer trabalho e, como tal, deve ser medida. Convém lembrar que, a cada trabalho, está também associado à maneira de executá-lo. Assim é que um determinado trabalho, visando à obtenção de certo objetivo, pode ser executado de diversas maneiras, isto é, por diversos métodos, que normalmente demandam tempos diferentes.

A determinação de tempos e métodos referente a um trabalho; é designada classicamente como o estudo de tempos e métodos ou também conhecido como cronoanálise.

Deve-se então abordar as técnicas usadas na determinação dos tempos envolvidos na execução dos trabalhos, embora, na prática, tal separação seja impossível, pois, como já foi mencionado, métodos e tempos estão intimamente ligados.

Pode-se ainda salientar que as técnicas descritas a seguir aplicam-se às partes dos trabalhos desempenhados completa ou preponderantemente pelo elemento humano. Nos casos em que as máquinas são os fatores controladores do trabalho ou de suas partes, as condições e, portanto, os tempos, serão ditados pelos requisitos técnicos do processo velocidade de corte, avanços, entre outros.

Segundo Pereira (2000) as técnicas para a determinação dos tempos podem ser divididas em:

- Tempos históricos;
- Tempos por cronometragem direta;
- Tempos predeterminados ou sintéticos;
- Amostragem de trabalho;
- Tempos estatísticos;
- Outras técnicas;

2.7.1 Tempos Históricos

Os tempos históricos não derivam propriamente da aplicação de uma técnica especial para sua determinação. São o resultado de uma coleta de dados, feita sem considerações especiais. É comum que ao se iniciar um estudo em uma organização, pode-se deparar com uma coletânea de dados referentes à duração de trabalhos efetuados, dados esses obtidos por simples registro dos tempos gastos nos trabalhos, sem levar em consideração os métodos empregados nas execuções, ou quaisquer outros dados suplementares. A partir desses dados, se pode

determinar a duração, ou melhor, os tempos efetivamente gastos na execução dos trabalhos, suas variações e outros dados pertinentes.

Os tempos assim determinados são denominados tempos históricos, e através deles podemos calcular dados da produção realizada, como, por exemplo, os custos históricos. Embora espelhando o que realmente aconteceu, os tempos históricos apresentam certos inconvenientes. As variações, que certamente apresentarão, podem provir de motivos diversos, entre os quais estão citados abaixo:

- Um mesmo trabalho ter sido executado por dois ou mais métodos diferentes, embora pelo mesmo operador;
- Dois operadores diferentes, executando o mesmo trabalho, terem-no feito com métodos diferentes (caso similar ao primeiro);
- Operadores diversos tenham executado o mesmo trabalho com métodos iguais, porém com tempos diferentes (diferença de ritmo);
- Causas diversas.

Não havendo registro das circunstâncias que cercaram os trabalhos (métodos empregados), torna-se impossível a determinação das causas que acarretam variações.

Como tal, torna-se difícil qualquer previsão razoavelmente precisa, baseada nos tempos históricos, uma vez que não se pode saber que fatores estarão em jogo ou, em outras palavras, para que lado as variações tenderão. Os tempos históricos não servem ainda para estabelecimento de padrões, nos termos clássicos, pois a noção de padrão está associada à maneira de executar um trabalho e as demais circunstâncias que o cercam. Todavia, os tempos históricos podem servir como padrão relativo. Assim é que, obtendo-se dados sobre um determinado trabalho, em épocas diferentes, pode-se dizer se o mesmo melhorou, piorou, ou manteve-se estável, no que concerne ao tempo consumido em sua execução.

2.7.2 Tempos por Cronometragem Direta

Os tempos por cronometragem direta, segundo a designação clássica, estão associados a dois conceitos básicos:

- O método de execução do trabalho;
- O tempo padrão.

O procedimento geral para a determinação de tempos por cronometragem comporta as três etapas seguintes:

- Determinação da maneira mais econômica de efetuar o trabalho;
- Padronização dos métodos, materiais, ferramentas e equipamentos utilizados;
- Determinação do tempo necessário à execução do trabalho, por um operador qualificado e convenientemente treinado, trabalhando em ritmo normal.

Os tempos devem ainda sofrer alterações referentes às concessões feitas quanto à duração da execução dos trabalhos ou de suas partes, e que provêm de:

- Condições intrínsecas do trabalho;
- Condições do ambiente em que o mesmo se desenvolve;
- Condições pessoais do elemento humano envolvido (necessidades pessoais).

Esse conjunto de alterações é designado por permissões.

O tempo normal, acrescido das permissões, é designado por tempo padrão.

Pelo exposto, verifica-se que os tempos cronometrados eliminam certos inconvenientes dos tempos históricos.

Havendo um método prefixado para execução dos trabalhos, bem como se conhecendo as demais circunstâncias que o cercam como ferramentas, máquinas,

equipamentos entre outros se torna possível à localização e eliminação de causas de variações, de maneira que as previsões serão mais exatas.

A comparação entre o previsto e o executado pode ser feita em termos mais precisos quando se conhece os tempos padrões. Esta precisão não é absoluta, pois, como foi visto, o tempo padrão envolve a avaliação subjetiva do ritmo. Há casos, todavia, em que se torna difícil a obtenção das durações de trabalhos por meio de cronometragem, dentre os quais citamos como principais:

- O trabalho (ou suas partes) é constituído de ciclos com pequena duração (até cerca de 20 centésimos de minutos);
- Pretende-se estabelecer padrões para trabalhos que ainda não se encontram em execução;
- O trabalho é constituído de ciclos relativamente longos, como 10 minutos ou mais;
- Os trabalhos não são repetitivos, como, por exemplo, nos casos de ferramentaria, onde, uma vez executado um trabalho, sua repetição dificilmente ocorre, pelo menos num intervalo de tempo relativamente curto, de modo que afixação de padrão pouco interesse tem.

Em resumo, os tempos por cronometragem:

- Prestam-se à fixação de padrões dentro de certas circunstâncias possibilitando boas estimativas e comparações precisas;
- Possibilitam a localização e eliminação de variações provindas de causas identificáveis;
- Não são aplicáveis aos casos de trabalhos ainda não introduzidos;
- Não são satisfatórios em casos de trabalhos com ciclos muito curtos ou muito longos;
- São deficientes no caso de trabalhos não repetitivos, ou não cíclicos.

2.7.3 Tempos Pré-Determinados

Os tempos pré-determinados também conhecidos como tempos sintéticos estão associados à determinação da duração de trabalhos que demandam pequeno tempo, ou micro movimentos.

Consistem na análise por observação visual de movimentos de duração muito curta, da ordem de milésimos de minutos que tem lugar durante a execução, obedecendo a essa análise a padrões preestabelecidos.

A duração destes movimentos encontra-se tabelada em função de fatores de influência, de acordo com vários sistemas. A título de exemplo cite-se o MTM (*Methods of Time Measurement*), desenvolvido, com base nos movimentos elementares de Gilbreth Therbligs, principalmente por Carl Barth, Harrington Emerson e Ralph M. Barnes.

Vale salientar que os tempos padrões determinados por esses sistemas excluem a necessidade de avaliação de ritmo, restando apenas cálculos de permissões a serem feitos.

Esses tempos foram obtidos em laboratório, onde, por meio de experiências, foram coletadas e tratadas estatisticamente muitas amostras relativas à duração dos movimentos elementares.

A técnica usada na confecção de tais tabelas consistiu na análise de filmes feitos sobre o trabalho. A observação dos filmes permite a determinação precisa do início e fim de cada micro movimento. A sua duração é obtida contando-se o número de quadros que o movimento abrangeu, o qual está relacionado com a velocidade de filmagem. Pode-se ainda determinar a duração pela observação, no filme, de um relógio especial, convenientemente filmado em conjunto com a operação.

De um modo geral, portanto, faz-se uso das tabelas existentes, o que não impede que, em casos especiais, uma tabela própria seja desenvolvida. Portanto, um trabalho que apresente pequenos ciclos (no máximo 20 centésimos de minutos) ou que ainda não esteja em andamento efetivo, pode ter sua duração preestabelecida por meio de sua divisão em partes que coincidam com as assinaladas em tabelas, das quais constam os tempos respectivos. Neste caso, simula-se o trabalho com um operador piloto, procedendo-se a análise de micro movimentos.

Através dos tempos sintéticos pode-se então cobrir casos em que os tempos históricos e os tempos cronometrados apresentam deficiências ou mesmo impossibilidade. Portanto, basicamente, os tempos predeterminados:

- Presta-se à determinação da duração de trabalho com ciclos muito curtos e de trabalhos não constantes da prática corrente;
- Fornece tempos padrões, servindo para comparação absoluta;
- São de determinação trabalhosa e requerem frequentemente dispêndio de quantias elevadas;
- Não requerem a avaliação subjetiva do ritmo.

2.7.4 Amostragem de Trabalho

Como abordado anteriormente, em certos tipos de trabalho, pode não ser possível o uso das técnicas de determinação de tempo até aqui descritas. Pode-se dar o caso em que tenha lugar certo número de operações heterogêneas, como, por exemplo, em armazéns, em escritórios e, especialmente, quando o trabalho envolve uma equipe. Frequentemente, todavia, a administração necessita saber, com razoável precisão, o que ocorre nas situações citadas, em termos de proporção do tempo que está sendo gasto em cada tipo de atividade; recorre-se, então, à amostragem do trabalho. A amostragem do trabalho baseia-se no fato de que o tempo gasto em trabalhos pode ser considerado como constituído de instantes individuais, durante os quais um estado particular de atividade ou inatividade prevalece. Dessa maneira, pode ser usada uma técnica de amostragem, que requer apenas uma fração do tempo e esforço que seriam necessários por outras técnicas, empregando uma série de instantes individuais, selecionados segundo intervalos ao acaso de um período representativo do trabalho. Por observação direta, registram-se as atividades estudadas, em cada um dos instantes. As frequências relativas das observações instantâneas observadas para cada atividade podem ser usadas como estimativas das proporções entre os tempos ocupados por essas atividades componentes do trabalho.

A técnica de amostragem mais comumente usada é denominada estudo por observações instantâneas. A principal característica deste estudo é a de visar à obtenção de um registro do que realmente ocorre, no instante em que o trabalho é observado. Não é o registro do que o analista pensa ou acha que deveria estar sucedendo, nem do que aconteceu ou pode acontecer em seguida. Por exemplo, mesmo que o operador esteja a ponto de ligar sua máquina quando o observador chega, o registro deverá ser feito como máquina parada. Portanto, para a aplicação de observações instantâneas, divide-se o trabalho estudado em atividades, tais como, por exemplo:

- Operador andando (com ou sem carga);
- Executando efetivamente uma operação;
- Esperando por material;
- Trocando ferramentas;
- Parado, etc.

2.7.5 Tempos Estatísticos

Os tempos estatísticos referem-se à necessidade, existente em certos casos, de determinação de tempos para uma série de operações semelhantes.

Pode-se considerar que, nestes casos, as operações são iguais no que se refere ao seu método de execução e tipo, diferindo no que concerne às grandezas dos elementos envolvidos.

Tomando como exemplo uma chapa com determinada dureza que deve receber furos de $1/4$, $3/8$, $1/2$, $5/8$, $3/4$, $7/8$ e 1 polegada. É claro que se pode determinar os tempos desse trabalho, para cada caso, aplicando uma das técnicas já descritas (respeitando as restrições mencionadas).

Nos casos práticos, existem indústrias, no entanto, que executam grande número de operações semelhantes e que, portanto, necessitariam de grande número de determinações de tempos, o que representaria um grande dispêndio de tempo e, em última análise, um elevado custo. Nesses casos, pode-se recorrer aos tempos estatísticos.

2.7.6 A Definição do Método de Obtenção dos Tempos

Como foi visto, há vários métodos pelos quais é possível estabelecer e controlar o tempo necessário para executar um trabalho, e que vão desde as simples estimativas dos tempos, feitas pelos encarregados ou responsáveis pela produção, até à cronometragem de cada elemento das operações; desde a aceitação pura dos tempos históricos, até a fixação dos tempos padrões pela decomposição das operações em movimentos elementares, para aplicação dos tempos sintéticos ou predeterminados, ou até a análise estatística de relações entre tempos de operações semelhantes e à complementação com informações fornecidas pela amostragem do trabalho.

Os métodos diferem:

- a) Pela precisão que fornecem;
- b) Pelo pessoal necessário e pela organização que requerem;
- c) Pelo tipo de informação que fornecem;
- d) Pelo seu custo.

Sabendo que os métodos diferem, devemos então selecionar o melhor método que deverá ser aplicado à empresa. Para tal deve-se fazer uma análise detalhada dos métodos descritos.

- a) Quais as características comparativas de cada método;
- b) Quais as principais aplicações do conhecimento dos tempos dentro de uma organização fabril.

Os diferentes usos das informações de tempos (necessidades), confrontados com as características próprias de cada método de apuração (possibilidades), deverão orientar a escolha do sistema (ou sistemas) para determinação dos tempos.

2.8 Conclusão

Com esse capítulo, foi possível conhecer os conceitos relativos simulação computacional, planejamento e controle, administração da produção, cronoanálise e dessa forma ressaltar a importância da aplicação desses conhecimentos.

As informações expressas nesse capítulo são genéricas à gestão da produção e, portanto, válidas para qualquer setor. No entanto, como o objeto de estudo desse trabalho é o setor metalúrgico, o próximo capítulo utilizará das informações expressas nesse capítulo, direcionando-as para o setor em questão.

3 EMPRESA ESTUDADA

A empresa Delgado Industrial está localizada na cidade de Petrolina Pernambuco, Av. Clementino Coelho, 999, Palhinhas. Atende clientes de vários estados do Nordeste, entre eles estão: Pernambuco, Piauí, Bahia e recentemente a Paraíba e Alagoas. Atua no setor secundário da economia, fornecendo insumos para a construção civil. Ela é dividida em pequenas fábricas (Atenas, Roma e Mestre Zé) e fabricam vários produtos. Ver Tabela 3.

Tabela 3: Lista de produtos das fábricas.

Fábrica	Produtos
ATENAS	Pias e tanques
ROMA	Caixa d'água, piscina e caixas para ar condicionado.
MESTRE ZÉ	Portas e janelas

Fonte: Autor.

Na fábrica Atenas são produzidos mais de 30 tipos de pias e tanques de várias cores e texturas. A Figura 5 mostra alguns desses modelos.



Figura 5: Catálogo de Pias e Tanques da Fábrica Atenas.

Fonte: Delgado Industrial.

Na fábrica Roma, além de se fazer caixas d'água também são produzidas caixas para ar condicionado e piscinas. Na Figura 6 estão alguns tipos de caixas d'água, de ar condicionado e piscinas.

Caixas d' Água				Altura	Boca	Base
250 L		53 cm	73 cm	51 cm		
310 L		60 cm	99 cm	74 cm		
500 L		62 cm	120 cm	101 cm		
1000 L		98 cm	127 cm	111 cm		
2000 L		100 cm	190 cm	153 cm		
3000 L		138 cm	200 cm	153 cm		
5000 L		170 cm	230 cm	190 cm		

Piscina				Altura	Boca	Base
1500 L		48 cm	201 cm	186 cm		

Caixa para Ar Condicionado Aberta				Altura	Larg.	Comp.
	7000 BTU's		39 cm	54 cm	55 cm	

Caixa para Ar Condicionado Fechada				Altura	Larg.	Comp.
	7000 BTU's		39 cm	54 cm	55 cm	
	10000 BTU's		47 cm	72 cm	66 cm	

Figura 6: Catálogo de Caixas d' água, Ar condicionado e Piscinas.

Fonte: Delgado Industrial.

Já na fábrica Mestre Zé, onde foi realizado o estudo, são produzidos 40 tipos de portas e janelas. Na Figura 7 estão alguns desses modelos.



Figura 7: Catálogo de Portas e Janelas.

Fonte: Delgado Industrial.

3.1.1 Processo Produtivo da Fábrica Mestre Zé

Dentre as três fabricas que compõem o grupo Delgado Industrial, foi escolhida a fábrica Mestre Zé (esquadrias metálicas), por apresentar, em seu processo de produção, características mais atraentes à investigação dos conceitos teóricos propostos nesse trabalho e possuir melhores condições para o levantamento dos dados. Foi escolhida também, dentro dos produtos fabricados lá, a porta do tipo aberta, por essa passar por todos os setores e estações da fábrica.

Para um melhor entendimento do processo de fabricação da porta, foi construído um fluxograma desse processo. Ver Figura 8.

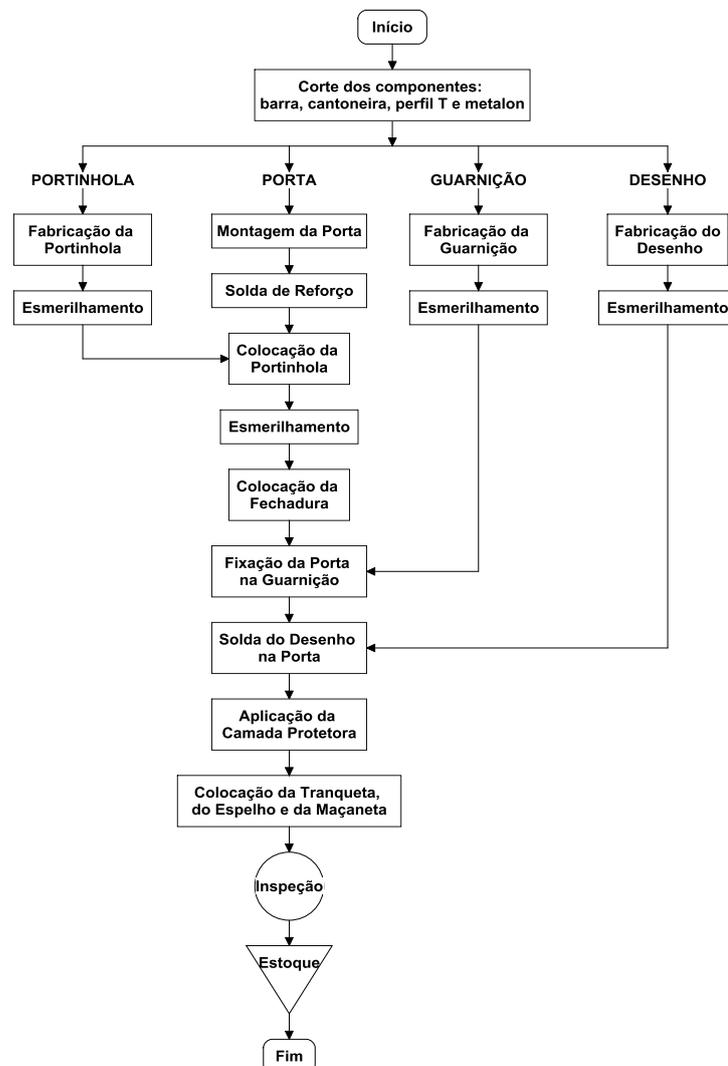


Figura 8: Fluxograma da fabricação de uma porta.

Fonte: Autor.

A seguir, serão apresentados os setores da fábrica Mestre Zé.

3.1.2 Setores da Fábrica Mestre Zé

Após conhecer o processo produtivo da porta, é preciso também que se conheçam os setores e pontos pertinentes ao processo de fabricação. Na Figura 9 esses setores podem ser visualizados.

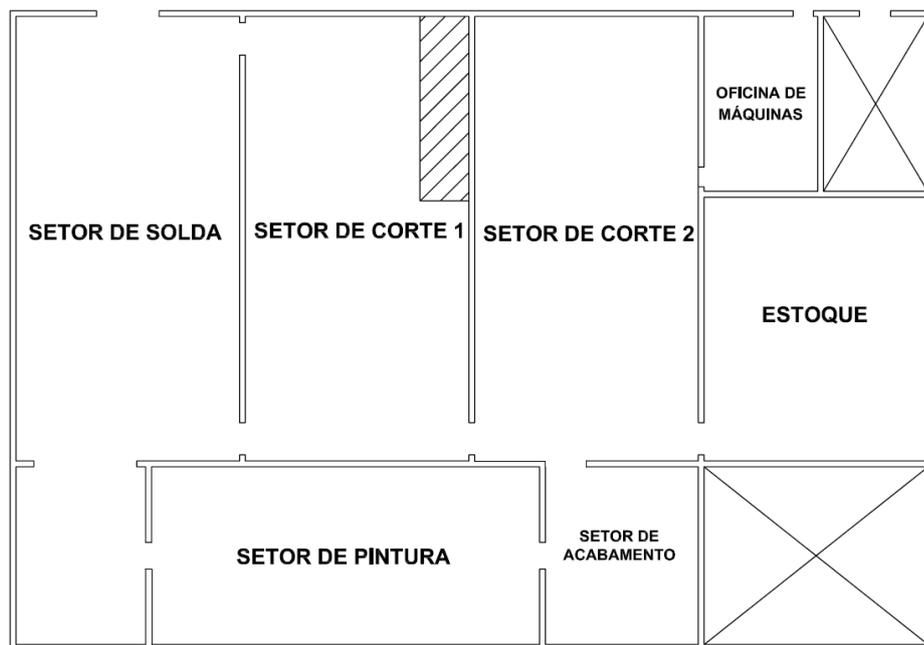


Figura 9: Planta baixa da fábrica Mestre Zé.

Fonte: Autor.

3.1.2.1 Setores de Corte

Para a fabricação de uma porta é necessária grande quantidade de matéria-prima de diversos tipos. Na Tabela 4 estão listadas todas as matérias-primas utilizadas na fabricação dessas portas. Algumas dessas matérias-primas darão origem aos componentes, partes utilizadas na montagem das portas.

Tabela 4: Lista de matérias-primas utilizadas na fabricação das portas.

Matéria-prima	Figura
Metalon 20mm x 40mm	
Cantoneira de 1/2" e 3/4"	
Barra de 3/8" e 1/2"	
Perfil T de 5/8" e 3/4"	
Chapa 2x1x24 e 3x1x24	
Gonzo 3/8" e 1/2"	
Tranqueta	
Fechadura	
Rebite	
<i>Primer</i> Cinza	
Arame de Solda MIG	

Fonte: Autor.

O processo de fabricação das portas inicia-se nos setores de corte, onde são realizados diversos tipos de cortes em diversos tipos de matérias-primas. Na Figura 10 pode-se visualizar a planta baixa dos setores de corte 1 e 2.

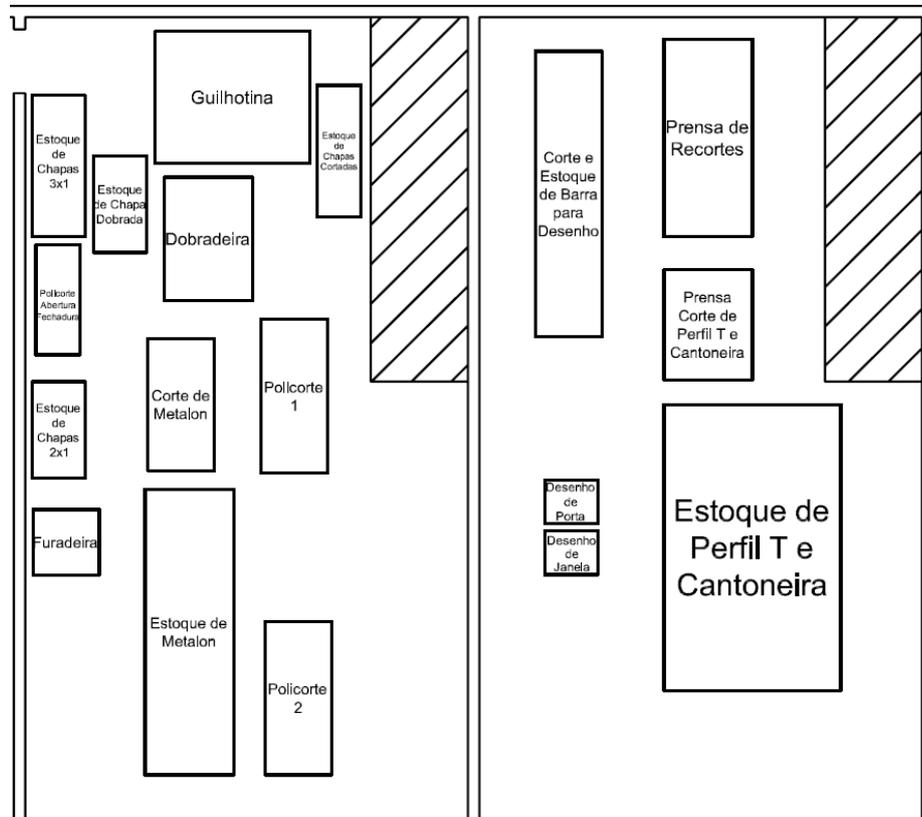


Figura 10: *Layout* do Setor de Corte 1 e Setor de Corte 2.

Fonte: Autor.

No Setor de Corte 1 são realizados os cortes de chapa e metalon. O processo de corte das chapas é feito por uma guilhotina e posteriormente segue para uma viradeira (ver Figura 11), onde são feitas as dobras necessárias de cada componente.



Figura 11: Guilhotina, Viradeira e chapa cortada e virada.

Fonte: Autor.

Já o corte do metalon necessita de mais processos, pois além do próprio corte, ele precisa receber furos para posteriormente serem fixados os espelhos e a maçaneta, e precisa também de uma abertura, feita com um policorte, onde será introduzida a fechadura (ver Figura 12).



Figura 12: Metalon furado e cortado.

Fonte: Autor.

No Setor de Corte 2 são realizados os cortes das barras, utilizadas na fabricação dos desenhos, das cantoneiras, utilizadas na fabricação da portinhola e componentes da guarnição e porta e, por fim, do perfil T, utilizado também na fabricação de componentes para guarnição e porta. Esse setor possui 2 prensas que realizam o corte de todas essas matérias-primas (ver Figura 13).



Figura 13: Prensa para corte de barras, cantoneiras e perfis T.

Fonte: Autor.

3.1.2.2 Setor de Solda

O Setor de Soldagem é composto por 8 estações, sendo 5 de solda, 1 de colocação da fechadura e 2 de lixamento. A Figura 14 apresenta o *layout* das estações de trabalho do Setor de Soldagem.

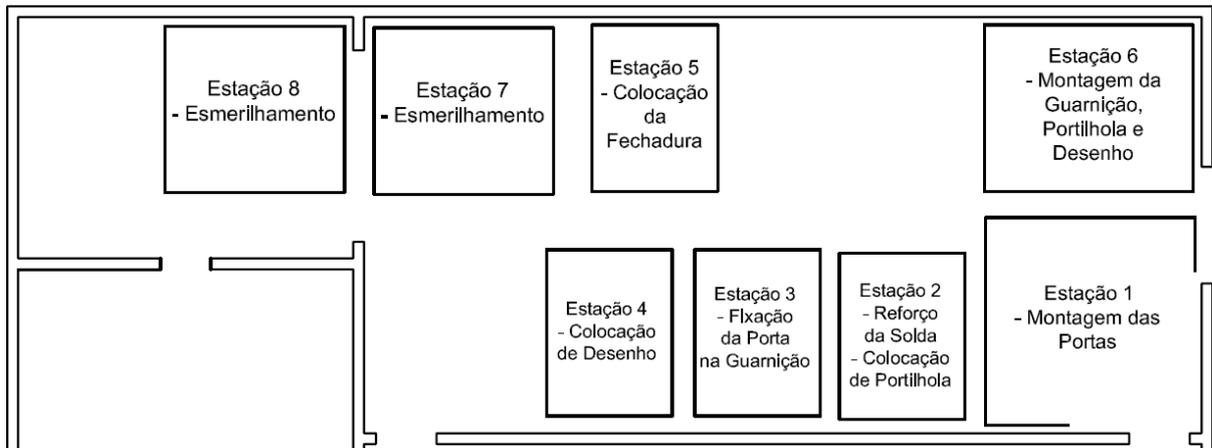


Figura 14: *Layout* do Setor de Soldagem e suas estações de trabalho.

Fonte: Autor.

O processo inicia-se na estação 1 do setor de soldagem, onde os componentes iniciais da porta são montados em um gabarito e soldados (ver Figura 15). Paralelamente a essa atividade também é produzida, na estação 6, a portinhola, a guarnição e o desenho que entrarão posteriormente no processo. Depois de concluída as atividades da estação 1, a porta segue para a estação 2, onde é feita a solda de reforço e a colocação da portinhola. Dando continuidade ao processo, a porta segue para as estações 7 e 8, onde ela é lixada. Na estação 5 a porta recebe então a fechadura. Em seguida a porta vai para as estações 3, onde irá ser fixada à guarnição e por fim receberá o desenho na estação 4.



Figura 15: Gabarito de montagem da porta.

Fonte: Autor.

3.1.2.3 Setor de Pintura

O Setor de pintura é o local onde a porta, depois de soldada, recebe uma camada de um produto (*primer* cinza) que a protegerá contra a ferrugem, conservando-a assim por um maior tempo. Esse processo é feito com uma pistola de pintura.

3.1.2.4 Setor de Acabamento

O último setor é o de acabamento, local onde a porta recebe os espelhos e as maçanetas da fechadura, a tranqueta da portinhola e é feita uma inspeção final para detectar algum problema na porta, havendo o problema ele segue para o setor de soldagem onde será reparada. O modelo da porta aberta pode ser visualizado na Figura 16.



Figura 16: Modelo da porta aberta.

Fonte: Autor.

3.2 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os setores que compõe a fábrica Mestre Zé, observando os processos que ocorrem em cada um deles.

A partir do fluxograma, foi possível entender como funciona todo o processo produtivo da fabricação de uma porta.

4 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos dessa pesquisa, o trabalho foi dividido em duas fases. Na primeira fase, foi realizada a revisão bibliográfica, através de livros, monografias, dissertações, teses, artigos científicos e publicações em revistas especializadas. Na segunda fase, foram realizadas visitas à empresa estudada para se ter um melhor conhecimento sobre os processos produtivos e coletar os dados que serviram de base para a modelagem do sistema. Após a modelagem, foram feitas simulações de cenários, para isso, foi utilizado o *software* Arena.

4.1 Tipo e Natureza da Pesquisa

Gil (2002) aponta três grandes grupos de pesquisa: exploratórias, descritivas e explicativas. A pesquisa exploratória tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, de forma a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A pesquisa descritiva busca identificar as características de determinada população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre variáveis. Já a pesquisa explicativa busca identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Diante de tal conceituação, como o estudo em questão busca proporcionar maior familiaridade com o problema e aprimorar ideias, essa pesquisa pode ser classificada inicialmente como do tipo exploratória. Após o decorrer do estudo, com a busca de identificar associação de variáveis ela se torna do tipo descritiva.

Com relação à técnica de análise adotada para este trabalho, pode-se afirmar que trata-se de um estudo de caso, pois segundo Silva e Mendes (2005), um estudo de caso envolve a análise de um objeto de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

4.2 Delineamento da Pesquisa

Gil (2002) define o delineamento como o planejamento da pesquisa, considerando o ambiente em que são coletados os dados e as formas de controle das variáveis envolvidas. A Figura 17 representa o roteiro utilizado nesta pesquisa.

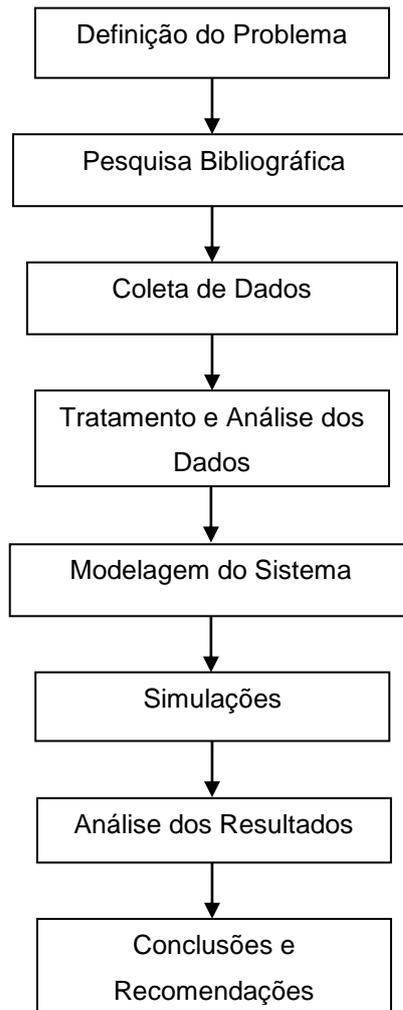


Figura 17: Roteiro de Pesquisa

Fonte: Autor.

A seguir, são apresentadas as partes desse roteiro de pesquisa.

4.2.1 Pesquisa Bibliográfica

Foram utilizados, como marcos iniciais para a pesquisa bibliográfica, o trabalho de Martins *et al* (2008), que fazia uma modelagem e simulação de uma linha de produção de uma fábrica de bancos automotivos buscando um incremento na produção, e o trabalho de Torga (2007), que buscou, a partir da simulação, a otimização do sistema produtivo de uma empresa do setor automobilístico. A partir desses trabalhos foram então coletados artigos, teses e monografias que permitiram o conhecimento e aprofundamento das informações a cerca das áreas ligadas à simulação dos processos produtivos.

4.2.2 Coleta, Tratamento e Análise dos Dados

A construção do modelo depende das informações de funcionamento do sistema real, que deve ser estudado levando-se em conta o enfoque do modelo. Uma vez combinados os recursos e definidas as regras de fluxo, deve-se coletar as informações de tempo. Este trabalho é muito importante para a representatividade do modelo, pois aqui são inseridas as variações aleatórias inerentes às várias operações (KELTON e SADOWSKI, 1998). Usualmente, em operações automatizadas os tempos de processo são fixos ou sofrem variações insignificantes, o que não é verdade para as operações realizadas, por exemplo, pelas pessoas. Estas estão sujeitas a muitas variações, que devem ser consideradas no modelo.

Segundo Harrell *et al.* (2000), a coleta de dados é um dos pontos mais importantes do processo de simulação, pois se o dados coletados não foram consistentes o modelo também não o será.

Após a realização de várias visitas à empresa estudada e a realização do mapeamento de processos, a requisição de informações pôde ser realizada. Esta etapa ocorreu após o mapeamento da linha, de forma que a maior parte das informações necessárias foram identificadas.

Para a coleta de dados foi utilizada dentre as técnicas para a determinação dos tempos, a cronometragem direta que é a determinação, com o uso de um cronômetro, do tempo necessário para se realizar uma tarefa. Mas para isso, é obvio

e intuitivo que apenas uma tomada de tempo não é suficiente para se determinar o tempo gasto para a realização de uma atividade. É necessário que se façam várias tomadas de tempo para obtenção de uma função de probabilidade estatística que melhor representa os tempos ligados a cada atividade. A questão foi: quantas tomadas de tempo seriam necessárias para que a média obtida fosse estatisticamente determinante? Segundo Martins e Laugeni (2005) o número de ciclos a serem cronometrados é deduzida da expressão do intervalo de confiança da distribuição por amostragem da média de uma variável distribuída normalmente, resultando a Equação 1 a seguir.

$$N = \left(\frac{Z \times R}{Er \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2$$

Equação 1: Número de ciclos a serem cronometrados.

Fonte: Martins e Laugeni (2005).

Onde:

N = número de ciclos a serem cronometrados;

Z = coeficiente de distribuição normal para uma probabilidade determinada;

R = amplitude da amostra;

Er = erro relativo da medida;

d_2 = coeficiente em função do número de cronometragens realizadas preliminarmente;

\bar{x} = média dos valores das observações;

Interpretação da fórmula: a fórmula do cálculo do número de ciclos a serem cronometrados foi desenvolvida em bases estatísticas. De acordo com Peinado e Graeml (2007), o tamanho da amostra vai depender:

- a) do grau de confiança desejado: assim, quanto maior o grau de confiança, maior o valor de Z (vide Tabela 5). Como Z está no numerador da fórmula, quanto maior Z, maior o tamanho de N;

- b) da dispersão entre os valores individuais da população: quanto maior a amplitude da amostra, maior o valor de N, já que R também está no numerador da fórmula;
- c) do erro tolerável: quanto maior o valor do erro tolerável E_r , menor o tamanho da amostra exigido, uma vez que E_r está no denominador da fórmula;
- d) da média das observações: quanto maior for o valor da média, menor será o tamanho da amostra necessária, já que \bar{x} está no denominador da fórmula. Isto está relacionado ao fato do grau de precisão na mensuração do tempo de atividades longas ser maior que na mensuração de atividades curtas;
- e) do tamanho da amostra inicial: quanto maior o tamanho da amostra inicial, mais precisa será a mensuração. Como se pode perceber a partir da Tabela 6, d_2 aumenta à medida que aumenta o número de cronometragens iniciais. Assim, como d_2 se encontra no denominador da fórmula, quanto maior a amostragem inicial, menor será o valor de N.

Os valores típicos dos coeficientes Z e d_2 utilizados nos cálculos são apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6, respectivamente.

Segundo Peinado e Graeml (2007), na prática costuma-se utilizar probabilidades para o grau de confiabilidade da medida entre 90% e 95%, e erro relativo aceitável variando entre 5% e 10%. Para esse estudo, foram escolhidos 95% para o grau de confiabilidade e 5% para o erro relativo.

Tabela 5: Coeficiente de distribuição normal.

Probabilidade	90%	91%	92%	93%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
Z	1,65	1,70	1,75	1,81	1,88	1,96	2,05	2,17	2,33	2,58

Fonte: Montgomery (2003).

De acordo com Martins e Laugeni (2005) para a utilização da Equação 1, deve-se realizar uma cronometragem prévia, cronometrando-se a operação entre 5

e 7 vezes e calculando-se, a partir dos resultados obtidos, a média (\bar{x}) e a amplitude (R).

Tabela 6: Coeficiente d_2 para o número de cronometragens iniciais.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078

Fonte: Montgomery (2003).

Mas, para o presente estudo, foram feitas inicialmente 10 medições de tempos de 9 atividades relativas à fabricação de uma porta. A Tabela 7 mostra as atividades e os tempos coletados referentes à realização de cada uma delas.

Tabela 7: Tempos iniciais coletados para a realização das atividades.

Atividade	Tempos Coletados (segundos)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Montagem da Porta	264	249	244	256	254	256	257	254	263	245
Solda de Reforço	85	87	91	89	80	82	88	90	94	91
Colocação da Portinhola	142	133	144	143	146	140	125	136	132	127
Esmerilhamento	106	118	117	114	103	108	119	116	122	109
Colocação da Fechadura	52	56	54	57	48	51	59	44	48	53
Fixação da Porta na Guarnição	330	310	358	373	407	342	347	379	362	336
Colocação do Desenho	91	88	86	82	84	98	90	89	92	80
Pintura	106	105	108	111	107	110	114	106	113	100
Acabamento	162	165	152	161	150	167	165	174	175	161

Fonte: Autor.

Após a coleta dos dados, esses foram submetidos a cálculos para a determinação do número de ciclos a serem coletados com um grau de confiança de 95% e o erro relativo de 5%. Na Tabela 8 estão os valores das variáveis usadas na equação para determinação do número de ciclos a serem cronometrados.

Tabela 8: Valores das variáveis usadas na Equação 1.

Atividade	Valores para as variáveis				
	\bar{x}	<i>R</i>	<i>Z</i> (95%)	<i>Er</i> (5%)	<i>d</i> ₂ (10)
Montagem da Porta	254,2	20	1,96	0,05	3,078
Solda de Reforço	87,7	14	1,96	0,05	3,078
Colocação da Portinhola	136,8	21	1,96	0,05	3,078
Esmerilhamento	113,2	19	1,96	0,05	3,078
Colocação da Fechadura	52,2	15	1,96	0,05	3,078
Fixação da Porta na Guarnição	354,4	97	1,96	0,05	3,078
Colocação do Desenho	88	18	1,96	0,05	3,078
Pintura	108	14	1,96	0,05	3,078
Acabamento	162,2	25	1,96	0,05	3,078

Fonte: Autor.

Em posse dos valores das variáveis, estas foram submetidas a cálculos para determinação do número de ciclos a serem cronometrados para cada atividade.

a) Atividade de montagem da porta:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{Er \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 20}{0,05 \times 3,078 \times 254,2} \right)^2 = \left(\frac{39,2}{39,12138} \right)^2 = (1,002)^2 = 1,004 \cong 2$$

b) Atividade de solda de reforço:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{Er \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 14}{0,05 \times 3,078 \times 87,7} \right)^2 = \left(\frac{27,44}{13,49703} \right)^2 = (2,033)^2 = 4,13 \cong 5$$

c) Atividade de colocação da portinhola:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{Er \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 21}{0,05 \times 3,078 \times 136,8} \right)^2 = \left(\frac{41,16}{21,05352} \right)^2 = (1,955)^2 = 3,82 \cong 4$$

d) Atividade de esmerilhamento:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{Er \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 19}{0,05 \times 3,078 \times 113,2} \right)^2 = \left(\frac{37,24}{17,42148} \right)^2 = (2,137)^2 = 4,57 \cong 5$$

e) Atividade de colocação da fechadura:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{\bar{E}r \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 15}{0,05 \times 3,078 \times 52,2} \right)^2 = \left(\frac{29,4}{8,03358} \right)^2 = (3,660)^2 = 13,39 \cong 14$$

f) Atividade de fixação da porta na guarnição:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{\bar{E}r \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 97}{0,05 \times 3,078 \times 354,4} \right)^2 = \left(\frac{190,12}{54,54216} \right)^2 = (3,48)^2 = 12,15 \cong 13$$

g) Atividade de colocação do desenho:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{\bar{E}r \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 18}{0,05 \times 3,078 \times 88} \right)^2 = \left(\frac{35,28}{13,5432} \right)^2 = (2,604)^2 = 6,79 \cong 7$$

h) Atividade de pintura:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{\bar{E}r \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 14}{0,05 \times 3,078 \times 108} \right)^2 = \left(\frac{27,44}{16,6212} \right)^2 = (1,651)^2 = 2,72 \cong 3$$

i) Atividade de acabamento:

$$N = \left(\frac{Z \times R}{\bar{E}r \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \times 25}{0,05 \times 3,078 \times 162,2} \right)^2 = \left(\frac{49}{24,96258} \right)^2 = (1,963)^2 = 3,85 \cong 4$$

Após os cálculos, verificou-se que o maior valor encontrado para N foi de 14 cronometragens na atividade de colocação da fechadura, mas para uma melhor confiabilidade e como havia disponibilidade de tempo, foram cronometrados 20 ciclos para todas as atividades. Todos os dados levantados nesta fase da pesquisa estão na tabela do Anexo 1.

4.2.3 Modelagem do Sistema

Para a efetivação de uma simulação é necessária a coleta de dados que evidenciem a situação atual da linha de produção e, a partir desses, são identificadas as funções de densidade de probabilidade que melhor representam as funções geradoras dos mesmos.

O programa Arena possui uma ferramenta auxiliar, o *Input Analyzer*, que realiza a análise estatística dos dados de entrada do sistema permitindo determinar a distribuição que mais se ajusta aos dados de entrada para o simulador do programa Arena (PRADO, 1999).

Após a cronometragem dos 20 ciclos de cada atividade, estes valores serviram como dados de entrada para o *Input Analyzer*. Na Tabela 9, pode-se observar cada uma das atividades e suas respectivas distribuições e erros quadrados fornecidos pelo *Input Analyzer*.

Tabela 9: Distribuições Estatísticas e Erros Quadrados.

Atividade	Distribuição Estatística	Erro Quadrado
Chegada de Componentes	$235 + 35 \times BETA(0.895, 1.01)$	0.045900
Montagem da Porta	$235 + 35 \times BETA(0.895, 1.01)$	0.045900
Solda de Reforço	$NORM(87.8, 3.72)$	0.028505
Colocação da Portinhola	$126 + 22 \times BETA(1.33, 0.736)$	0.035924
Esmerilhamento	$103 + 21 \times BETA(0.722, 0.826)$	0.041257
Colocação da Fechadura	$43.5 + LOGN(7.17, 7.87)$	0.037073
Fixação da Porta na Guarnição	$308 + 94 \times BETA(0.81, 0.75)$	0.048138
Colocação do Desenho	$79.5 + 18 \times BETA(0.962, 0.683)$	0.034408
Pintura	$101 + 15 \times BETA(0.658, 0.676)$	0.032255
Acabamento	$150 + 26 \times BETA(1.05, 0.824)$	0.048810

Fonte: Autor.

Dentro do processo de produção foram observadas determinadas paradas inerentes a este processo. Para estas paradas foram feitas estimativas, já que os tempos não foram possíveis de serem cronometrados. Na Tabela 10, segue as paradas, suas estimativas de tempos e as atividades em que ocorrem.

Tabela 10: Tempo de paradas das atividades.

Parada	Tempo (segundos)	Atividades
Beber água e ir ao banheiro	5 min/h	Todas
Limpeza do bico de solda	2 min/h	Montagem da Porta, Solda Reforço, Colocação da Portinhola, Fiação da Guarnição e Colocação de Desenho.
Abastecimento do reservatório da pintura	10 min/h	Pintura
Requisição de matéria-prima	5 min/h	Acabamento
Troca do disco da esmerilhadeira	2 min/h	Esmerilhamento

Fonte: Autor.

De posse das equações de distribuição estatística obtidas no *Input Analyzer* e das estimativas de tempo de parada, o próximo passo é criar o *layout* da planta do processo produtivo a ser simulado no Arena, onde este pode ser visualizado na Figura 18.

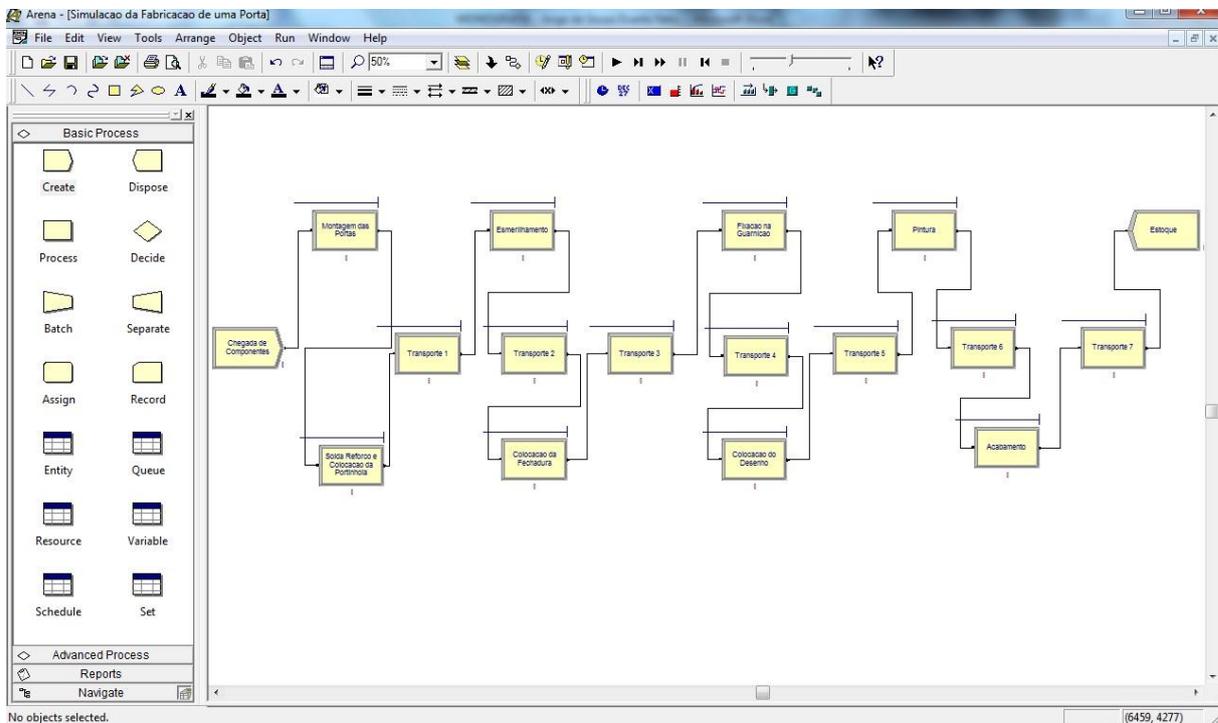


Figura 18: *Layout* da planta do processo produtivo modelado no Arena.

Fonte: Autor.

Depois de criado o *layout*, deve-se, então, carregar as informações individualmente em cada etapa da linha de produção. A seguir, demonstram-se os módulos utilizados no modelo.

4.2.3.1 Módulo *Create*

Este módulo destina-se como ponto de partida para as entidades em um modelo de simulação. O tipo de entidade é especificado neste módulo.

Na Figura 19, apresenta-se a configuração do *Create* correspondente à Chegada dos Componentes na linha de produção.

Figura 19: Módulo *Create* da Chegada dos Componentes.

Fonte: Autor.

Name: Nome da entidade de entrada → Chegada de Componentes.

Entity Type: Tipo da entidade → Porta

Time Between Arrivals: Tempo entre chegadas.

Type: *Expression* → Foi especificada a expressão de distribuição estatística mostrada na Tabela 9. Foi utilizada inicialmente, a mesma expressão do módulo de Montagem da Porta para possibilitar a medida das estatísticas relativas aos recursos utilizados na estação de Montagem da Porta.

Units: Unidades de tempo utilizadas → *Seconds*.

4.2.3.2 Módulo *Process*

Este módulo destina-se como o principal método de processamento na simulação. Opções para apreensão e liberação de recursos disponíveis. O tempo do processo é atribuído à entidade e pode ser considerado como valor adicionado, valor não adicionado, transferência, espera ou outras.

Na Figura 20, apresenta-se a configuração de um *Process* (Montagem das Portas), já que os outros seguem o mesmo raciocínio.

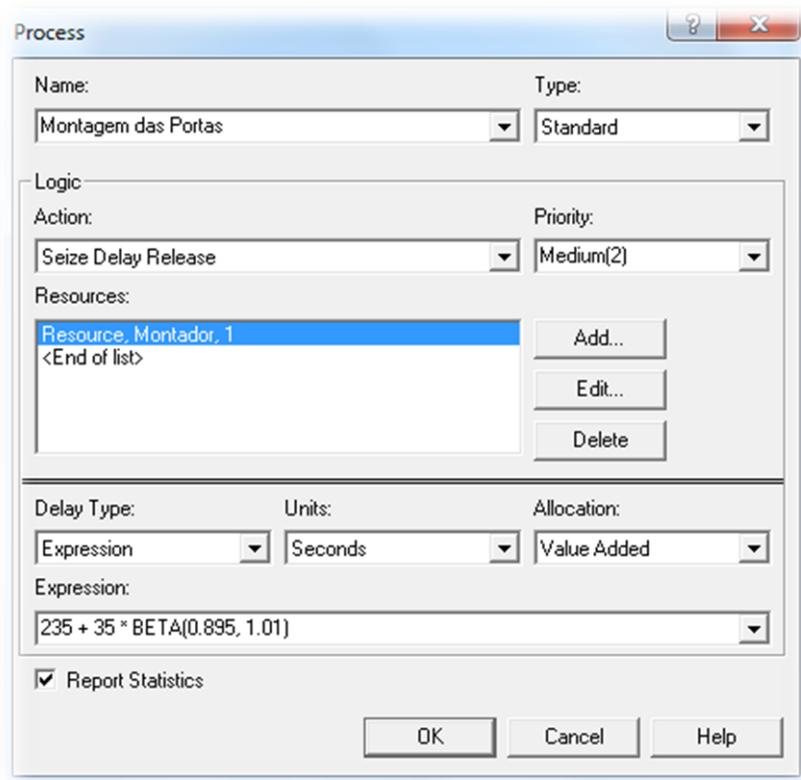


Figura 20: Módulo *Process* da Montagem da Porta.

Fonte: Autor.

Name: Nome dado ao processo designado → Montagem da Porta

Type: Lógica dentro do módulo → Padrão *Standard*

Logic: lógica do processo.

Action: Tipo de processo que irá ocorrer dentro do módulo → *Seize Delay Release*, ele indica que um recurso será alocado.

Delay Type: Tipo de distribuição → *Expression*.

Units: Unidade de tempo dos parâmetros → *Seconds*.

Allocation: Determina como o tempo de processamento e os custos do processo serão alocados para a entidade → *Value Added* (Valor Agregado).

Expression: Expressão utilizada no módulo *Process* → Foi especificada a expressão de distribuição estatística mostrada na Tabela 9.

4.2.3.3 Módulo *Dispose*

Este módulo destina-se como ponto final para as entidades em um modelo de simulação. Na Figura 21, apresenta-se a configuração do *Dispose* utilizado no modelo.

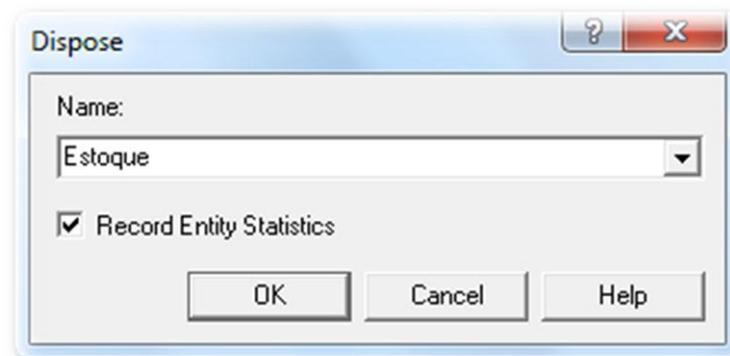


Figura 21: Módulo *Dispose*.

Fonte: Autor.

Name: Nome da entidade de saída → *Estoque*

Record Entity Statistics: Determina se as estatísticas da entidade entrada serão gravadas ou não. As estatísticas incluem custos e tempos.

4.2.3.4 Módulo de Dados *Resource*

Este módulo de dados define os recursos no sistema de simulação, incluindo informações de custos e disponibilidade de recursos. As falhas e estados dos

recursos também podem ser referenciados neste módulo. A Figura 22, apresenta-se a configuração do *Resource* utilizado no modelo que simula a situação atual.

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Ajudante	Fixed Capacity	1	7.30	7.30	0.0		2 rows	✓
2	Pintor	Fixed Capacity	1	7.30	7.30	0.0		2 rows	✓
3	Acabador	Fixed Capacity	1	7.30	7.30	0.0		2 rows	✓
4	Montador	Fixed Capacity	1	9.30	9.30	0.0		0 rows	✓
5	Reforçador	Fixed Capacity	1	9.30	9.30	0.0		2 rows	✓
6	Fixador	Fixed Capacity	2	9.30	9.30	0.0		2 rows	✓

Figura 22: Entrada de dados no módulo *resource*.

Fonte: Autor.

As simulações realizadas levaram em consideração apenas os custos diretos relativos à mão-de-obra. Na Tabela 11, estão os valores dos salários dos funcionários envolvidos no processo produtivo e os valores relativos às horas trabalhadas.

Tabela 11: Valor da hora trabalhada dos funcionários da Mestre Zé.

Funcionário	Salário + Encargos (R\$)	R\$/Hora Trabalhada
Acabador	1284,00	7,30
Ajudante	1284,00	7,30
Fixador	1638,00	9,30
Montador	1638,00	9,30
Pintor	1284,00	7,30
Reforçador	1638,00	9,30

Fonte: Autor.

4.2.3.5 Run Setup

Antes de executar o modelo, após do término da montagem do fluxograma, deve-se fornecer as opções de controle da execução. Para isso, existe uma opção no *menu* principal do Arena, o *Run Setup*. Na Figura 23, apresenta-se a configuração do *Run Setup* utilizado no modelo.

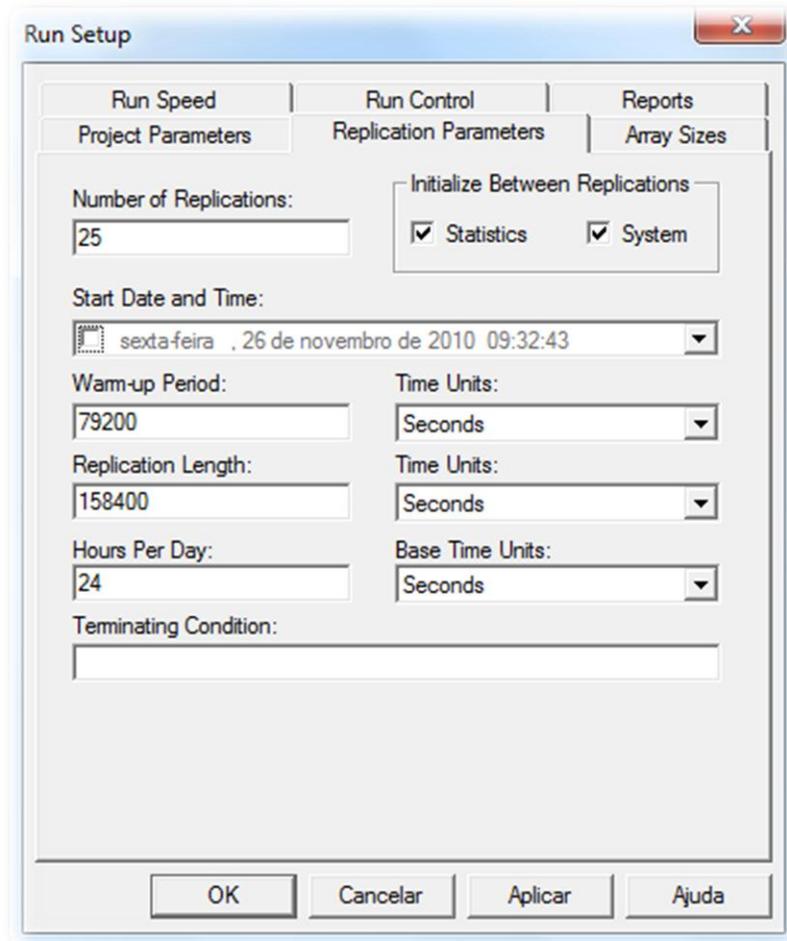


Figura 23: *Run Setup (Replication Parameters)*.

Fonte: Autor.

Replication Parameters: Definem-se vários parâmetros do modelo.

Number of Replications: Número de replicações de execução do modelo → Segundo Torga (2007), o número de replicações deve ser determinado de acordo com a precisão requerida dos resultados a serem obtidos pela simulação. Se uma avaliação superficial de desempenho é planejada, de três a cinco replicações são suficientes. Entretanto, para uma análise mais aprofundada mais replicações são necessárias. Por esse motivo, o número de replicações aplicadas à busca de resultados deste trabalho é de 25 replicações.

Warm-up Period: Período de aquecimento → Neste período não são recolhidas as estatísticas do mesmo. O tempo de aquecimento, também varia conforme o modelo, e deve ser determinado por tentativas (KELTON e SADOWSKI 1998). Neste caso o *Warm-up* foi de 79200 segundos (22 horas).

Time Units: Unidade de medida do tempo → *Seconds*.

Replication Length: Tempo de execução → Foi utilizado 158400 segundos (44 horas) acrescidos do tempo de *Warm-up*, 79200 segundos (22 horas), dando um total de 237600 segundos.

4.2.3.6 Validação do Modelo

Segundo Harrell *et al* (2000) a validação é o processo onde se determina a relação entre o modelo e a realidade que o mesmo representa. É de extrema importância, uma vez que todas as decisões sobre o que fazer no sistema real será baseado nos resultados que o modelo produzir. O processo de validação não é trivial e o modelador somente poderá atestar a validade do modelo baseado em evidências.

Segundo Sargent (2004), existem diversas técnicas para validar um modelo, desde uma simples visualização até métodos estatísticos de alta complexidade, sendo comum a comunicação de mais de duas técnicas. As técnicas mais comuns de validação são:

- a) Observação da animação do modelo para atestar se o aspecto visual e o funcionamento do mesmo condizem com o sistema real;
- b) Comparação com outros modelos já validados, realizando-se a simulação de entradas que já possuem saídas predefinidas para a avaliação dos resultados;
- c) Teste de degeneração e condições extremas do sistema, permitindo-se observar se o modelo construído possui as mesmas características que o sistema real, como por exemplo, o aumento de peças em fila em uma determinada máquina durante o período de funcionamento do sistema;
- d) Validação por aparência, onde pessoas que dominam o sistema são convidadas a opinar sobre sua aparência final;
- e) Testes com dados históricos do sistema real, utilizados na construção do modelo e na visualização dos resultados já alcançados pelo sistema real no sistema modelado;

- f) Análise da sensibilidade de resposta e alterações nos dados de entrada e posterior comparação com o sistema real;
- g) Condução de *turing tests*, onde os gestores do sistema modelado expressam sua opinião sobre a consistência do modelo computacional em relação ao sistema real.

Segundo Harrell *et al* (2000), o tipo de validação mais utilizado é a comparação entre os resultados do modelo com os resultados do sistema real. Segundo o mesmo autor, o propósito da validação é diminuir os riscos associados às decisões tomadas com base no modelo.

Validar um modelo é avaliar o quanto ele se aproxima do sistema real, assegurando que o modelo serve para o propósito que foi criado. Buscou-se validar o modelo através da comparação do resultado da quantidade produzida do sistema real com o do modelo simulado (ver Tabela 12), metodologias sugeridas por Sargent (2004).

Para este estudo de caso, a produção semanal real foi estimada, devido esta ser composta por uma variedade de produtos que compartilham do mesmo processo de produção, das mesmas estações de trabalho e dos mesmos recursos. Para esta estimação, foram consideradas as seguintes simplificações:

- O modelo só irá simular a fabricação de apenas um tipo básico de portas;
- A linha de produção simulada não será utilizada para a manufatura de nenhum outro produto além deste tipo básico de portas;

Tabela 12: Comparação da Produção Real X Produção Simulada.

<i>Produção Total Semanal</i>		
Real (estimado)	Simulado	Erro
600	626	0,04

Fonte: Autor.

4.2.4 Simulações

Nesta etapa, foram criados 30 cenários e feitas diversas simulações levando em consideração apenas os custos diretos de mão-de-obra (salários), incrementos percentuais na chegada de componentes na produção (Bloco *Create*) e quantidade de recursos utilizados para realizar as atividades de cada estação de trabalho. Na Tabela 13 estão as quantidades de recursos utilizados que servirão de base para as próximas simulações.

Tabela 13: Configuração dos recursos utilizados no Cenário Atual.

Cenário	Recursos Utilizados	
Atual	Acabador	1
	Ajudante	1
	Fixador	2
	Montador	1
	Pintor	1
	Reforçador	1

Fonte: Autor.

De posse dos dados da simulação do cenário atual, foram incrementados percentuais para que houvesse um aumento na chegada de componentes no sistema. Após estes incrementos, foram ajustadas as quantidades de recursos de cada atividade, de forma que o sistema simulado ficasse estável¹ utilizando o mínimo de recursos. As informações referentes a estas modificações encontram-se na Tabela 14.

¹ O sistema é considerado instável quando, em alguma das estações, ocorrer a formação de uma fila que tende a crescer continuamente. Nesta estação é acrescentado o mínimo de recurso suficiente para evitar esse aumento contínuo.

Tabela 14: Resumo das modificações realizadas em cada cenário.

Modificações Realizadas		
Cenário	Incremento na Chegada de Componentes na Produção	Acréscimo de Recurso
1	10%	1 Ajudante – 1 Fixador – 1 Montador – 1 Reforçador
2	20%	1 Acabador
3	30%	Nenhum
4	40%	Nenhum
5	50%	Nenhum
6	60%	1 Fixador
7	70%	Nenhum
8	80%	1 Pintor
9	90%	1 Ajudante
10	100%	1 Acabador
11	110%	1 Fixador – 1 Montador – 1 Pintor – 1 Reforçador
12	120%	Nenhum
13	130%	Nenhum
14	140%	Nenhum
15	150%	1 Fixador
16	160%	1 Fixador
17	170%	1 Ajudante
18	180%	3 Acabadores
19	190%	Nenhum
20	200%	1 Fixador – 1 Reforçador
21	210%	1 Montador
22	220%	Nenhum
23	230%	1 Ajudante – 1 Pintor
24	240%	1 Ajudante – 1 Fixador
25	250%	Nenhum
26	260%	Nenhum
27	270%	1 Fixador
28	280%	2 Acabadores
29	290%	1 Pintor – 1 Reforçador
30	300%	1 Acabador – 2 Fixadores – 1 Pintor

Fonte: Autor.

Cada novo cenário simulado recebe o número de recursos utilizados no cenário anterior, realizando ou não mudanças em suas quantidades. Os recursos referentes a cada cenário simulado podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15: Recursos Utilizados em cada um dos Cenários Simulados

Recursos Utilizados em cada um dos Cenários Simulados

Recurso	Simulações dos Cenários																														
	Atual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Acabador	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	9
Ajudante	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6
Fixador	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	12
Montador	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pintor	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	6
Reforçador	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5

Fonte: Autor.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo irá apresentar os resultados obtidos com as simulações dos diversos cenários propostos, onde foi possível identificar pontos passíveis de intervenções, buscando uma maior produção com um menor custo de mão-de-obra direta.

5.1 Custos de Produção

Para fazer a análise dos custos de produção, buscou-se fazer comparações entre os cenários simulados tomando como base o cenário que simula a situação atual da produção. A Tabela 16 mostra os valores dos números de portas produzidas, custo direto de mão-de-obra, custo de mão-de-obra unitária, preço de venda, custo de matéria-prima e por fim a margem bruta total de todos os cenários simulados.

Para o cálculo da margem bruta total semanal, foi considerado o preço de venda unitário de R\$ 155,80 e o custo de matéria-prima unitário de R\$ 68,94.

De posse desses dados, foi possível identificar algumas informações importantes referentes aos cenários simulados. A primeira delas é o quanto seria o ganho em margem bruta total semanal por cada real investido em mão-de-obra. A Figura 24 demonstra essa relação.

Tabela 16: Dados relativos aos cenários simulados.

Cenário	Funcionários		Produção Semanal (unid.)	Custo Direto de M.O. Semanal (R\$)	Custo de M.O. Unitário (R\$)	Margem Bruta Total Semanal (R\$)
	Ajudante (unid.)	Soldador (unid.)				
Atual	3	4	626	2600,00	4,15	51774,36
1	4	7	657	4150,00	6,32	52917,02
2	5	7	755	4470,00	5,92	61109,30
3	5	7	816	4470,00	5,48	66407,76
4	5	7	883	4470,00	5,06	72227,38
5	5	7	944	4470,00	4,74	77525,84
6	5	8	1003	4880,00	4,87	82240,58
7	5	8	1071	4880,00	4,56	88147,06
8	6	8	1134	5202,00	4,59	93297,24
9	7	8	1197	5522,00	4,61	98449,42
10	8	8	1263	5844,00	4,63	103860,18
11	9	11	1322	7392,00	5,59	107436,92
12	9	11	1380	7392,00	5,36	112474,80
13	9	11	1447	7392,00	5,11	118294,42
14	9	11	1515	7392,00	4,88	124200,90
15	9	12	1571	7802,00	4,97	128655,06
16	9	13	1637	8210,00	5,02	133979,82
17	10	13	1701	8532,00	5,02	139216,86
18	13	13	1767	9496,00	5,37	143985,62
19	13	13	1822	9494,00	5,21	148764,92
20	13	15	1892	10314,00	5,45	154025,12
21	13	16	1951	10722,00	5,50	158741,86
22	13	16	2014	10722,00	5,32	164214,04
23	15	16	2082	11364,00	5,46	169478,52
24	16	17	2139	12096,00	5,65	173697,54
25	16	17	2204	12094,00	5,49	179345,44
26	16	17	2266	12096,00	5,34	184728,76
27	16	18	2333	12506,00	5,36	190138,38
28	18	18	2382	13146,00	5,52	193754,52
29	19	19	2457	13878,00	5,65	199537,02
30	21	21	2516	15338,00	6,10	203201,76

Fonte: Autor.

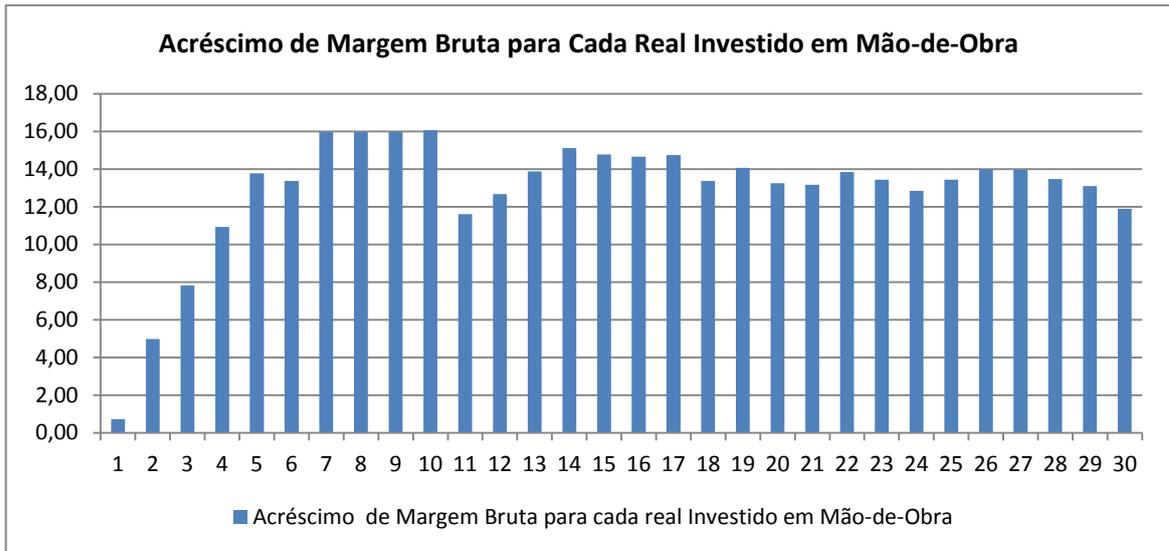


Figura 24: Acréscimo de Margem Bruta para cada real investido em mão-de-obra.

Fonte: Autor.

Verificou-se que nos cenários 7, 8, 9 e 10 para cada real investido em mão-de-obra foi possível ter um acréscimo, em média, de R\$ 16,00 na margem bruta, sendo que o cenário 10 foi aquele onde registrou-se o maior valor, cerca de R\$16,06.

A segunda informação importante é a relação entre o número de funcionários e a produção semanal. A Figura 25 demonstra essa relação.

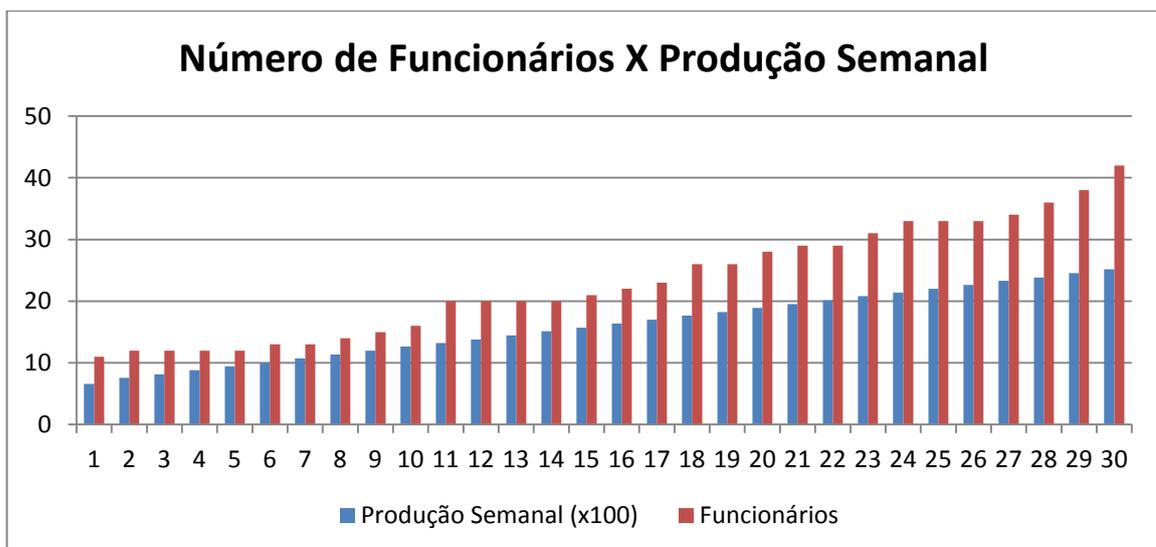


Figura 25: Número de Funcionários x Produção Semanal.

Fonte: Autor.

Ao visualizar essa relação pode-se notar que, no início (aproximadamente até o cenário 10), o número de funcionários necessários à produção acompanha, quase que linearmente, a produção semanal. À medida que foi incrementada a entrada de componentes no sistema, com intuito de aumentar a produção, o número de funcionários foi crescendo e essa relação começa a se distanciar. Isso se deve, principalmente, à não proporcionalidade do aumento do número de ajudantes em relação ao aumento do número de soldadores, sendo que há um maior incremento no número de ajudantes.

A terceira informação relevante que pode ser extraída dos dados é a relativa à possibilidade de definir-se quando deve-se incrementar somente a mão-de-obra da linha atual ou então quando deve-se, no lugar disso, criar uma nova linha de produção semelhante à que existe atualmente. A Tabela 17 e a Tabela 18 podem ser utilizadas para auxiliar essa decisão.

Tabela 17: Dados relativos aos cenários passíveis de comparação com ações de criação de novas linhas de produção.

Cenário	Funcionários		Folha De Pagamento	Incremento de Folha (Relativo)	Incremento de Folha (Absoluto)	Produção Semanal	Custo Direto de M.O. Semanal	Custo de M.O. Unitário	Margem Bruta Total Semanal
	Ajudante	Soldador							
1	3	4	R\$ 10.404,00			626	R\$ 2.600,00	R\$ 4,15	R\$ 51.774,36
8	6	8	R\$ 20.808,00	100,0%	R\$ 10.404,00	1134	R\$ 5.202,00	R\$ 4,59	R\$ 93.297,24
15	9	12	R\$ 31.212,00	200,0%	R\$ 20.808,00	1571	R\$ 7.802,00	R\$ 4,97	R\$ 128.655,06

Fonte: Autor.

Tabela 18: Dados relativos às ações de criação de novas linhas de produção.

Número de Linhas	Funcionários		Folha De Pagamento	Incremento de Folha (Relativo)	Incremento de Folha (Absoluto)	Produção Semanal	Custo Direto de M.O. Semanal	Custo de M.O. Unitário	Margem Bruta Total Semanal
	Ajudante	Soldador							
1	3	4	R\$ 10.404,00			626	R\$ 2.600,00	R\$ 4,15	R\$ 51.774,36
2	6	8	R\$ 20.808,00	100,0%	R\$ 10.404,00	1252	R\$ 5.200,00	R\$ 4,15	R\$ 103.548,72
3	9	12	R\$ 31.212,00	200,0%	R\$ 20.808,00	1878	R\$ 7.800,00	R\$ 4,15	R\$ 155.323,08

Fonte: Autor.

A Tabela 17 foi construída com os dados relativos aos cenários que, em relação à quantidade de mão-de-obra, apresentam configurações que são múltiplos

do cenário atual. O objetivo disto é comparar o investimento em mão-de-obra ao investimento na criação de uma ou mais linhas de produção idênticas à atual.

Pode-se verificar que o cenário 8 apresenta uma configuração de mão-de-obra igual à situação de ter-se duas linhas idênticas à linha do cenário atual em operação, porém a produção deste cenário (1134 portas) fica abaixo da produção de duas linhas iguais à atual (1252 portas) (ver Tabela 18). Com isso, a margem bruta resultante de ter-se duas linhas fica superior em R\$ 10.251,48 (ver Tabela 19).

Essa situação acontece também com o cenário 15, que apresenta uma configuração de mão-de-obra igual à situação de ter-se três linhas idênticas à linha do cenário atual em operação, porém a produção deste cenário (1571 portas) fica abaixo da produção de três linhas iguais à atual (1878) (ver Tabela 18). Com isso, a margem bruta resultante de ter-se três linhas fica superior em R\$ 26.668,02 (ver Tabela 19).

Tabela 19: Comparação entre as situações analisadas.

<i>Funcionários</i>		<i>Produção Semanal para Duplicação</i>	<i>Produção Semanal para Incremento de M.O.</i>	<i>Diferença Absoluta de Produção</i>	<i>Margem Bruta Total Semanal para Duplicação</i>	<i>Margem Bruta Total Semanal para Incremento de M.O.</i>	<i>Diferença Absoluta da Margem Bruta Total Semanal</i>
<i>Ajudante</i>	<i>Soldador</i>						
6	8	1252	1134	118	R\$ 103.548,72	R\$ 93.297,24	R\$ 10.251,48
9	12	1878	1571	307	R\$ 155.323,08	R\$ 128.655,06	R\$ 26.668,02

Fonte: Autor.

Pode-se então concluir que o gestor da empresa tem à sua disposição informações que podem norteá-lo na tomada de decisão com relação a um futuro plano de expansão. As informações da Tabela 19, se complementadas com os dados de custos para implantação de uma nova linha, podem subsidiar uma análise de investimento, ajudando a definir o tempo de retorno (*Payback*) que tal empreendimento teria.

Por exemplo, ao optar por criar uma nova linha de produção no lugar de implementar o cenário 8, o gestor teria então cerca de R\$ 41.000,00 mensais disponíveis para custear esta nova linha. O tempo de retorno, em meses, desse investimento seria aproximadamente o custo total da linha dividido por esses R\$ 41.000,00.

E, ao optar por criar duas novas linhas de produção no lugar de implementar o cenário 15, o gestor teria então cerca de R\$ R\$ 106.000,00 mensais disponíveis para custear esta nova linha. O tempo de retorno, em meses, desse investimento seria aproximadamente o custo total da linha dividido por esses R\$ 106.000,00.

Porém, ainda existem outras análises a serem feitas, já que esse trabalho considerou apenas os custos diretos de mão-de-obra e de matéria-prima. Seria necessária uma quantidade maior de informações vindas de outras áreas (contábil, *marketing*, vendas, distribuição, entre outras) da empresa para se fazer uma análise mais detalhada dos custos envolvidos em todo o processo produtivo, fazendo que a opção por qualquer uma das situações descritas anteriormente possa ser considerada como mais vantajosa em relação à situação semelhante.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente capítulo tem por objetivo apresentar as conclusões sobre o trabalho. Primeiramente serão feitos alguns comentários sobre o objetivo que norteou o estudo e os resultados obtidos, em seguida será feita uma consideração final e por último serão propostas algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

Para atingir o objetivo principal deste trabalho, foi necessário dividi-lo em quatro etapas.

Na primeira etapa foram feitas as primeiras visitas ao chão das fábricas, onde se procurou identificar as formas de gestão da produção praticadas pela empresa estudada. Viu-se que a empresa não possuía uma gestão bem definida, dificultando, inicialmente, a compreensão dos sistemas de produção empregados por ela. Assim, foram realizadas visitas quase que diariamente, fazendo com que se criasse uma familiaridade com todos os processos lá empregados.

Na segunda etapa, após a familiarização com todos os processos produtivos, foi selecionada a fábrica e o sistema produtivo que iria ser simulado. Por apresentar, em seu processo de produção, características mais atraentes à investigação dos conceitos teóricos propostos nesse trabalho e possuir melhores condições para o levantamento dos dados, foi escolhida a Fábrica Mestre Zé. Foi escolhida também, dentro dos produtos fabricados lá, a porta, por essa passar por todos os setores e estações da fábrica.

Para coletar as informações sobre os tempos necessários para a realização de cada atividade, foi escolhida dentre as técnicas para determinação dos tempos de produção, a de cronometragem direta. Foram feitas, inicialmente, 10 medições dos tempos de execução das 9 atividades do sistema de produção atual, gerando assim, um banco de dados que serviu para a realização dos cálculos onde foi determinado o número de ciclos a serem cronometrados. Após realizado os cálculos,

determinou-se que seria preciso realizar 14 coletas de tempos para cada atividade, só que foram feitas 20, devido a disponibilidade de tempo e para que os dados tivessem uma maior confiabilidade.

Na terceira etapa, após ter em mãos todos os dados referentes aos tempos de execução das atividades foi preciso construir o modelo, para isso foi utilizado um *software* de simulação, o Arena. Nele foi possível modelar a linha de produção atual contendo todas as informações referentes a esta linha. Nesta etapa também foi feita a validação do modelo, na qual se utilizou da técnica de comparação com a situação real. Foi preciso estimar a produção já que a linha de produção modelada não funciona exclusivamente para o produto escolhido, ela compartilha seus recursos com a produção de outros itens. Por fim, foi levantado os custos referentes a mão-de-obra e matéria prima.

Na quarta e última etapa, com o modelo de simulação pronto e validado, foi possível, a partir dele, identificar gargalos que restringia e determinava o desempenho produtivo da linha de produção, impedindo assim, a empresa de atender plenamente a demanda por seus produtos. Para tanto, foram construídos, a partir do modelo atual, 30 cenários contemplando alguns ajustes. Os principais ajustes realizados foram na quantidade de componentes entrando no sistema (incrementos percentuais) e na quantidade de mão-de-obra utilizada para realização das atividades.

Depois de concluídas as etapas foram possíveis identificar algumas informações bastantes importantes referentes às simulações.

Verificou-se que o custo para a realização da simulação é bem mais baixo do que se fossem fazer modificações na própria linha de produção, já que para a realização das simulações deste trabalho precisou-se apenas de um computador, um *software* gratuito (Arena – Versão para estudantes) e um cronometro para coletar os tempos de cada atividade pertencente ao processo produtivo estudado.

Viu-se também que a identificação de gargalos na produção fica mais fácil, principalmente com a ajuda gráfica, já que há a possibilidade de visualização das filas geradas em cada estação de trabalho.

Foi observado nas simulações que nem sempre o acréscimo de mão-de-obra representa um aumento de produção, pois no caso estudado chegou a um determinado momento que a melhor solução seria a ampliação da linha de produção.

Por fim, conclui-se que a simulação pode ser mais utilizada pelas empresas, pois ela pode se tornar um diferencial competitivo.

6.2 Recomendações

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se:

- Fazer um levantamento mais detalhado de todos os custos relativos à fabricação das portas;
- Realizar um estudo para analisar a viabilidade da ampliação da linha de produção atual da fábrica Mestre Zé;
- Fazer uma simulação contemplando todos os processos produtivos da fábrica Mestre Zé;
- Introduzir no modelo os outros recursos (máquinas de solda, componentes, entre outros), bem como obter informações mais detalhadas das paradas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Roberto Manhães de. **Simulação**. Disponível em:<<http://www.see.rj.gov.br>> Acessado em: 25 maio 2010.

BANKS, J., CARSON, J.S. **Discrete-event system simulation**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.

BANKS, J. **Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Applications and Practice**. Atlanta: Jhon Wiley & Sons, 1998.

BARNES, Ralph M. **Estudo de movimentos e de tempo: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

BRATLAY Paul, Fox BENNET L., SCHRAGE, Linus E. **A Guide to Simulation**, Second Edition. New York, Springer-Verlag, 1987.

BRITO, António E. S. Carvalho, FELIZ, J. Manuel Teixeira. (2001), "**Simulação por Computador**", Publindústria Editor.

CORRÊA, Henrique L; GIANESI, Irineu G. N. **Just in time, MRP II e OPT- um enfoque estratégico**. Atlas. São Paulo, 1996.

DÁVALOS, Ricardo Villarroel. **Simulação de sistemas de produção**. Unisul. Palhoça, 2003.

DUARTE, Roberto N. **Simulação computacional: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças**. Dissertação de mestrado em engenharia de produção. UNIFEI, Itajubá, MG, 2003.

FIORONI, M.M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de**

composições. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

FREITAS, P. J. **Introdução a modelagem e Simulação de Sistemas**. Santa Catarina: Visual Books, 1990.

FREITAS, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HARRELL, Ghosh e Bowden. **Simulation Using Promodel**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2000.

KELTON, W.D., Sadowski, Randall P. e Sadowski, Deborah A. (2002), **Simulation With Arena**, Second Edition, WCB McGraw-Hill.

Kelton, W. D.; Sadowsky, R. P.; Sadowsky, D. A. - **Simulation With Arena**; McGraw Hill. Pittsburgh, - U.S.A - 1998.

LAW, A.M. & KELTON, W.D.: **Simulation Modeling and Analysis**. 2ª ed. New York, McGraw Hill, 1991.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3. ed. Boston McGraw-Hill, 2000.

LEME, Rui Aguiar da Silva. **Controles na produção**. São Paulo: Pioneira 1973

MACHLINE, Claude *et al.* **Manual de administração da produção**. RJ; FGV; 1986.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MARTINS, Alexandre Fernandes *et al.* **Modelagem e simulação de uma linha de produção para bancos automotivos**. Curitiba, UTFPR, 2008.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. LCT. Rio de Janeiro, 2001.

PAZOS, Fernando. **Automação de sistemas & robótica**. Axcel Books. Rio de Janeiro, 2002.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1990.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção - Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba. UnicenP, 2007.

PEREIRA, I. C. **Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes**. Dissertação mestrado em engenharia de produção. UNIFEI, Itajubá, MG, 2000.

PEREIRA, Kleber Eduardo Furlani. **Proposta para a melhoria da produtividade e eficiência através do estudo dos métodos e processos**. UBC, Mogi das Cruzes, SP, 2000.

POLARI. Disponível em: <www.lsi.usp.br/pee_labs/PSI2325-Exp3_PolariTrans.pdf>. Acessado em: 25 maio 2010.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação**. Série Pesquisa Operacional. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999. v. 3.

PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. Série Pesquisa Operacional. Belo Horizonte, Editora de Desenvolvimento Gerencial 1999. v. 2.

SALIBY, E. **Repensando a simulação – A Amostra Descritiva**. São Paulo: Editora Atlas, 1998.

SARGENT, R.G. **Validation and verification of simulation models**. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2004.

SHIMIZU, Tamio. **Decisão nas organizações**. Atlas. São Paulo, 2001.

SILVA E. L. MENEZES E. M., **Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação**, Florianópolis 2005.

SLACK, Nigel. **Administração da produção**. Atlas. São Paulo, 2002.

STAMM, Harro. **Simulação industrial: uma avaliação de sua utilização no sudeste e sul do Brasil**. Dissertação de mestrado em engenharia de produção. UFSC, Florianópolis, SC, 1998.

STRACK, Jair. **GPSS: modelagem e simulação de sistemas**. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

TORGA, Bruno Lopes Mendes. **Modelagem, Simulação e Otimização em Sistemas Puxados de Manufatura**. Dissertação de mestrado em engenharia de produção. UNIFEI, Itajubá, MG, 2007.

UCHÔA JÚNIOR, Frédick Silva. **Uma análise comparativa entre ambientes de simulação e linguagens de propósito geral para o desenvolvimento de simulações**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Pernambuco. Recife, 2006

VERGARA, Silvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 1997.

Anexo 1

<i>Atividade</i>	<i>Tempos Coletados</i>																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Montagem das Portas	262	238	241	268	243	262	252	238	253	241	245	250	260	259	242	235	250	269	242	257
Solda de Reforço	88	82	90	81	83	95	91	89	88	84	83	85	90	90	88	89	86	92	93	89
Colocação da Portinhola	132	147	137	142	126	128	139	143	147	144	146	140	140	144	139	138	147	145	144	139
Esmerilhamento	121	122	109	108	115	106	108	123	115	123	103	107	107	106	103	113	119	119	107	104
Colocação da Fechadura	51	47	49	48	44	46	59	48	57	55	59	47	45	46	51	45	53	48	59	47
Fixação da Porta na Guarnição	371	372	348	374	365	308	401	371	318	390	397	320	393	342	381	320	313	361	351	356
Colocação do Desenho	87	84	91	97	96	86	96	97	93	80	82	82	89	91	83	96	96	94	97	85
Pintura	110	107	105	115	103	101	110	111	115	102	105	115	108	113	107	103	108	101	115	104
Acabamento	158	174	157	174	158	165	170	161	150	174	172	156	153	159	158	175	171	161	163	172

